

NATURVIDENSKAB OG TEKNOLOGI
DIREKTE FRA FORSKNINGSVERDENEN

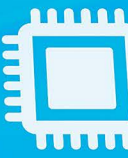
AKTUEL *natur* VIDENSKAB

DEEP LEARNING

- ET GENNEMBRUD FOR KUNSTIG INTELLIGENS


Autonomous
Mode


Location


Compute

NETWORK

DRIVER

BAKTERIER på hjernen

GULERØDDER forebygger tarmkræft

Kan man MÅLE, hvad dyr tænker og føler?

NR.2 - 2018 MAJ : 50 KR.

Fornuft og viden på vej i vandløbene

Trods gode resultater har naturindsatsen i vandløb mødt stærk politisk modstand. Men nu er der tegn på en voksende lydhørhed overfor naturvidenskabelige fakta.

Vore år og bække fortæller en af de få, gode historier om forbedringer i vores natur. »Den dårlige udvikling er vendt, og det skal fortsætte«, var for eksempel dommen over vandløb i Natur- og Landbrugskommissionens rapport fra 2013. Laks og havørreder, der stiller meget store krav til miljøet, er vendt tilbage mange steder. Det er noget, vi har tal på, for DTU-AQUA holder regnskab med bestandene på deres cirka 5000 målestrækninger. De viser et stadigt stigende afkast fra et næsten nulpunkt. I 2016 blev der for eksempel fanget 1600 laks i det fordums okker- og dambrugsplagede jyske Storå-system. Kystfiskeriet efter havørred er en støt stigende succes. Det skyldes vellykkede restaureringer i de små vandløb, hvor laks og havørreder nu genopbygger fordums tiders store bestande. Oven i det hele kan DTU-AQUA regne ud, at en kilometer restaureret, lille vandløb, hvor ørreder/laks kan gyde, ender med en samfundsgevinst på mere end en kvart million kroner per år.

Sådanne synlige resultater har skabt folkelig opbakning og politisk respekt. Og så skader det ikke, at der også er penge i det.

Natur og/eller afvanding?

Men ikke alt er gode historier. Vi kan for eksempel ikke sætte tal på, hvad indsatsen har betydet for vandløbets øvrige dyreliv. Og indsatserne sker kun i nogle af vore cirka 70.000 km vandløb. Mere end 2/3 er ikke omfattet af vandplaner, der skal sikre naturhensyn.

Oven i det hele er miljøindsatsen blevet syndebug for de stadig hyppigere oversvømmelser, der blandt andet plager landmænd med marker ved åen. Uanset at påstandene igen og igen er afvist, gentages de med øget styrke. Det er blandt andet endt med, at cirka 6000 km små vandløb er taget ud af vandplanernes beskyttelse. Og nu forberedes en revideret vandløbslov, der skal tage hånd om våde marker.



Bent Lauge Madsen
Åmand emeritus excercens
bent@laugemadsen.dk

Set i lyset af de senere års uforsonlige politiske pres kunne der nok være gode grunde til at forvente det værste for vandløbsnaturen med en ny lov. Men måske er der grund til at imødesee den med optimisme?

Der er, ikke mindst blandt beslutningstagerne, en voksende forståelse for de uomgængelige kendsgerninger i vandløbene. Det traditionelle svar på oversvømmelserne har været at få vandet til at løbe hurtigt "væk" ved at uddybe bækkenene og rette åerne ud. Den opfattelse er nu ved at vende 180 grader. Udretningerne og uddybningerne er nemlig en væsentlig årsag til øgede oversvømmelser.

Den naturlige løsning, flere og flere kan se det fornuftige i, er at holde vandet tilbage i de øvre vandløb. Således kunne Jyske Vestkysten 1. april i år fortælle, at de tre borgmestre, der deler Kongeå-oplandets velsignelser og forbandelser, nu vil gå sammen for at løse nedstrøms oversvømmelser ved »... at finde ud af, hvordan vi kan dæmme op for vandet længere mod øst«, det vil sige opstrøms. De finder nok ud af, at det kan gøres ved at give bækkene og åer flere slyngninger, stenstryg og plantebanker. Og ved at give åerne lov til igen at parkere en del af de store afstrømninger i sine flade enge, å-sengene.

Respekter vandløbene

Oplægget til den kommende vandløbslov peger i samme retning. Forfatterne, med venskabspolitikeren Henrik Høegh som formand, foreslår således "vandparkeringspladser" som en del af løsningen på nedstrøms problemer.

Ved at respektere vandløbets naturlige evne til at moderere afstrømningen kan styring af oversvømmelser gå hånd i hånd med en naturindsats. Det gælder ikke mindst i de mange små vandløb, der ikke er med i vandplanerne. De er en særdeles vigtig nøgle i indsatsen mod nedstrøms oversvømmelser. Med deres store snitflade med landjorden er "de mange bække små" hovedleverandører af vandet. Fra naturens hånd er bækkene brede og lavvandede med en ru sten- og grusbund: Her møder vandet stor modstand. Ved at genskabe bækkenes "vandbremse" får bækken også de elementer tilbage, der er forudsætningen for en god natur- og miljøkvalitet. For at denne indsats skal lykkes er det vigtigt, at alle myndigheder ved et vandløbssystem koordinerer arbejdet, så man ikke risikerer at eksportere problemer nedstrøms. Det er meget lovende, at oplægget til den ny vandløbslov netop anbefaler, at kommunerne forpligtes til i fællesskab at udarbejde helhedsplaner for hele oplandets vandløbssystem.

Det er opløftende, at vi i en tid, hvor "alternative fakta" florerer og forgifter den politiske proces, kan opleve, at der er politisk lydhørhed for naturvidenskabelige kendsgerninger. Til trods for, at interesserne er så forskellige som omkring vandløbene. Det hænger nok sammen med, at kendsgerningerne er enkle, uomgængelige, forståelige og synlige.

En ny vandløbsforvaltning vil ikke stoppe oversvømmelser, men den kan moderere dem. Det kan vel ikke udtrykkes bedre end gjort af amerikanske Gilbert White for længe siden: "Oversvømmelser er Guds værk, men deres skader er overvejende menneskets værk." ■

indhold



I løbet af de seneste 10 år er kunstige, neurale netværk gået fra at være en støvet, udstødt teknologi til at spille en hovedrolle i udviklingen af kunstig intelligens. Dette fænomen kaldes *deep learning* og er inspireret af hjernens opbygning.

8



Det er velkendt, at mennesker som spiser mange grøntsager, har en nedsat risiko for at få kræft. Det er nu bevist, at gulerodens indhold af stofferne falcariinol og falcariindiol kan forebygge og hæmme udviklingen af forstadier til kræft i tyk- og endetarm i en dyremodel.

24

FORSKNING OG NYHEDER

- 4 Kort Nyt
- 8 Deep Learning – et gennembrud inden for kunstig intelligens
- 14 Mellem isrygge og åbent vand
- 18 Bakterier på hjernen
- 24 Gulerødder forebygger og hæmmer udviklingen af tarmkræft
- 30 Kølecontainere forudser egne fejl
- 32 Økosystem-modeller – processer, prognoser og usikkerheder

PERSPEKTIV - DEBAT

- 2 SYNSPUNKT: Fornuft og viden på vej i vandløbene
- 36 Kan man måle, hvad dyr tænker og føler?
- 41 Debat: Hvad er meningen med livet...
- 40 Bøger og service
- 44 BAGSIDEN: Exoskeletterne kommer



De utallige bakterier, som lever i vores krop, gør andet og mere end at fordøje vores mad. Faktisk tyder nyere forskning på, at bakterierne i vores tarme er i direkte dialog med hjernen.

18



I hvilken grad kan studier i adfærd og kognition hos dyr afsløre, hvordan dyr føler og tænker? En videnskabsteoretisk analyse af sådanne studier kan lære os om teoretiske antagelser i videnskaben og om videnskabens grænser.

36

AKTUEL NATURVIDENSKAB

Udgiver

Aarhus Universitet, Science & Technology, i samarbejde med:

- Det Natur- og Biovidenskabelige Fakultet, Københavns Universitet
- Det Naturvidenskabelige Fakultet samt Det Tekniske Fakultet, Syddansk Universitet
- Det Teknisk-Naturvidenskabelige Fakultet, Aalborg Universitet
- Roskilde Universitet

Ansvarshavende

Søren Rud Keiding, prodekan, Science & Technology, Aarhus Universitet

Redaktion

Redaktører Jørgen Dahlgaard og Carsten Rabæk Kjaer
Tlf.: 87 15 20 94

E-post: red@aktuelnaturvidenskab.dk

Hjemmeside: aktuelnaturvidenskab.dk



AALBORG UNIVERSITY
AALBORG ESBJERG COPENHAGEN



AARHUS
UNIVERSITET



KØBENHAVNS UNIVERSITET
DET NATUR- OG BIOVIDENSKABELIGE FAKULTET



DET NATURVIDENSKABELIGE
FAKULTET



DET TEKNISKE
FAKULTET



Roskilde Universitet

SPONSOR-
ABONNENTER

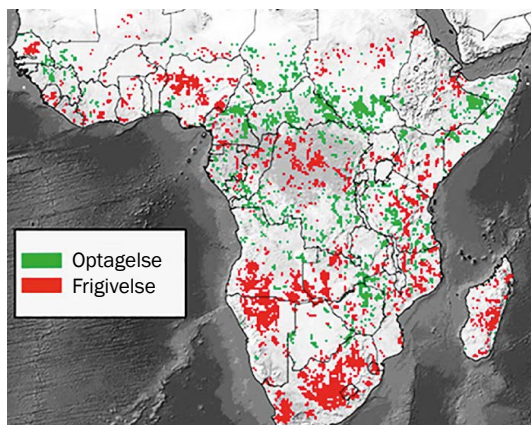


Bedre styr på kulstofbalancen

Balancen mellem kulstof der bindes i jorden og vegetationen og kulstof, der udledes som CO₂ til atmosfæren, er vigtig for vores klima og miljø. Nu har forskere fra Københavns Universitet testet en ny franskbygget satellit, kaldet L-VOD, der kan måle denne kulstofbalance langt mere detaljeret end den nuværende metode, som foregår med luftfotos. Satellitten bruger lavfrekvente, passive mikrobølger, der kan måle vandindholdet i planter, hvilket er lineært relateret til biomasse-kulstof. Ved at undersøge ændringer i biomasse fra år til år, får man et mål for, hvor store kulstofudledninger, der finder sted.

»Det her er et af de største skridt i forhold til kulstofmålinger siden opfindelsen af infrarøde målinger i 1970'erne,« siger postdoc Martin Stefan Brandt fra Institut for Geovidenskaber, der står bag studiet.

»Den nye satellit er i stand til at måle udledninger fra hele vegetationen, altså også stammerne og grenene og ikke kun kronerne, som det har været tilfældet indtil



Ændringer i vegetationens kulstoflagre (over jordoverfladen) i Afrika i perioden 2010-2016. Regioner med signifikant negative (kulstoffrigivelse) eller positive (kulstofoptag) kulstofændringer er vist henholdsvis med rød og grøn. Illustration: © M. Brandt, KU.

nu – det giver os en meget mere detaljeret indikation af kulstofbalancen i de pågældende områder,« fortæller han.

I studiet tog den danske forskergruppe et årligt billede af det afrikanske kontinent over en syvårig periode. Satellitten kunne derefter vise et detaljeret kort over kulstofbalancen

fordelt over hele Afrika (se kort).

Over de syv år dokumenterede forskerne, at tørke og afskovning havde en dramatisk indflydelse på kulstofudledningerne, der igen har en negativ effekt på klimaet. Netop derfor, er det vigtigt, at der nu findes et redskab til at monitorere forandringerne i landskabet.

»Vi bliver nødt til at forstå, hvordan forskellige faktorer som afskovning og tørke påvirker kulstofbalancen, så man giver et grundlag for, at eksperter og politikere

kan træffe beslutninger i arbejdet med klimaforandringer,« mener Martin Stefan Brandt.

Satellitten kan vise sig at blive et vigtigt værktøj i det fremtidige arbejde med klimaforandringer og reduktionen af CO₂-udslippet. For eksempel forventer forskerne, at FN's klimapanel (IPCC) kan bruge satellitten i relation til Parisaftalen, fordi den vil være god til at vise udledninger for hvert land.

Nanna Birk Jensen, Københavns Universitet.
Nature Ecology & Evolution, vol.2, p. 827–835 (2018)

Nyt lys på den søde tand

Har du en ekstra trang til at gå i slikskålen fredag aften? Og er du bare generelt lidt af en storforbruger af is og chokolade? Så er der måske en forklaring plus en god og en dårlig nyhed på vej!

Forskere fra Københavns Universitet (Novo Nordisk Foundation Center for Basic Metabolic Research) fandt sidste år ud af, at hormonet FGF21 spiller en rolle i vores indtag af søde sager. Hormonet udskilles primært fra leveren og hjælper os normalt med at sænke sukkerindtaget. Forskerne viste også, at personer med en bestemt variant af det gen, der koder for FGF21-hormonet, havde meget større sandsynlighed for at have en "sød tand". Den gode nyhed er nu, at et nyt studie fra samme gruppe har vist, at de samme personer faktisk har mindre fedt i kroppen end andre mennesker. I et samarbejde med en engelsk gruppe var forskerne i stand til



Et gen associeret med "sød tand" er også associeret med lav fedtprocent, men en uheldig fordeling af fedtet, viser ny forskning. Foto: Colourbox

at undersøge over 450.000 personer for FGF21-genvarianten og en række forhold, som kunne associeres med den. Blandt andet viste det sig, at personer med den bestemte genvariant havde en lavere fedtpro-

cent end personer med en anden variant af samme gen. Det kan måske lyde som gode nyheder for alle os med en sød tand, men det er desværre ikke hele historien. For det viste sig, at genvarianten samtidig var associeret med højere blodtryk og mere fedt omkring taljen end hofterne. En kropsform, der måske bedre er kendt som en "æbleform". Så selvom personer med genet for den "søde tand" har en lavere fedtprocent, er det altså ikke en undskyldning for at blande ekstra slik på fredag.

På baggrund af dette nye studie har forskerne fået større forståelse for FGF21-hormonets virkning, hvilket måske kan åbne op for udvikling af nye lægemidler til behandling af fedme og diabetes, der er designet til at ramme FGF21-hormonet.

Sara Helm Knudsen, Kilde: DOI: <https://doi.org/10.1016/j.celrep.2018.03.070>

Bobler fra fortiden

De første livsformer på Jorden var mikroorganismer, men på trods af deres uanseelige størrelse har de haft enorm betydning for livets udvikling på Jorden: Det var således deres aktivitet, der omdannede vores planet til et sted, hvor planter og dyr kunne trives og udvikle sig til livet, som vi kender det i dag. Man finder kun sjældent spor af selve mikroorganismerne som fossiler i aflejringer fra Jordens spæde ungdom, og derfor må man som regel tolke deres tilstedeværelse ud fra de spor, de indirekte har sat sig på miljøet.

Billedet viser et eksempel på netop det: Små bobler i 1,6 milliarder år gammelt fossilt materiale af såkaldte stromatolitter, som er mikrobielle bakteriemåtter.



Foto: Stefan Bengtson

De små runde sfærer i bakteriemåtterne blev opdaget, da ph.d. Therese Sallstedt og kolleger fra SDU, det svenske nationalhistoriske museum og universitetet i Stockholm

studerede fossilerede sedimenter fra Indien. Forskerne mener, at disse sfærer er iltbobler dannet i måtter af cyanobakterier på lavt vand. Når cyanobakterierne producerede ilt gennem fotosyntese kunne iltten fanges som små bobler i de slimede bakteriemåtter, og på den måde er et meget synligt tegn på deres aktivitet bevaret for eftertiden.

Cyanobakteriernes aktivitet ændrede Jordens overfladeliv uigenkaldeligt, fordi de skabte ilt til atmosfæren. Selv har de også overlevet tidens gang, idet spillevende stromatolitter stadig findes på Jorden den dag i dag.

Birgitte Svennevig, SDU. Kilde: Geobiology: <https://doi.org/10.1111/gbi.12274>

Unge ingeniører har succes med sensorer

Et semesterprojekt om sensorer til fødevareindustrien udviklede sig for tre ingeniørstuderende til virksomheden Sensohive. Casper Harlev, Tobias Ejersbo og Tim Larsen som studerede henholdsvis civilingeniør i Product Development and Innovation og civilingeniør i Robotteknologi på SDU blev så opslugte af deres semesterprojekt, at de endte med at springe ud som virksomhedsejere. Nu eksporterer de sensorer til 22 forskellige lande.

For tre år siden knoklede de uden løn for at finde investorer. Det lykkedes. Innovationsfonden investerede penge i den nystartede virksomhed. Siden er forretningen skåret til. Fra at satse på fødevareindustrien er målet nu at blive førende i at sælge sensorer til betonindustrien.

»Vores sensorer, som placeres inde i betonelementet, kan fortælle præcis, hvornår betonen er hærdet og klar. Tidligere spildte betonfabrikker kostbar tid på at være sikre på, at betonen var hærdet. Nu kan kvalitetschefen få et overblik over samtlige hærdningsprocesser på dashboard,« siger den 25-årige CEO Casper Harlev.

Betonsensorerne opererer nu i alle tidszoner. I Danmark bruges de blandt andet af Contiga



Foto af en betonsensor i aktion. Sensorkables støbes ind i den flydende beton, og efter brug klippes kablet blot over. Samlet får systemet input om temperaturen fra betonen, klimadata uden for betonen samt sammensætningen af betonen. Baseret på datainput beregner en algoritme styrken af betonen i realtid. En anden algoritme forudsiger ud fra det nuværende datasæt og lignende målinger, hvornår den støbte beton forventes at være færdighærdnet. Foto: Sensohive.

Tinglev A/S, som er en af landets førende producenter af præfabrikerede betonelementer.

»Hvis vi skal overleve, så gælder det om at finde en niche, hvor vi skiller os ud. Derfor brugte vi meget tid på at udtænke, hvad det er, der gør os specielle. Hvor skiller vi os ud? Nu er vores mål, at være de bedste til at måle på beton,« forklarer Casper Harlev og fortsætter:

»Det var nok ikke mange, der havde forestillet sig, at betonindustrien skulle være en af de første industrier til at træde ind i Industri 4.0,« griner Casper Harlev og peger på, at

deres beregninger for en typisk kunde viser, at betonfabrikkers investering i sensorer er tjent ind på tre måneder.

I takt med, at ordrerne er tikket ind, er antallet af ansatte fulgt med. Nu er de ni. Og sidste år gik Sensohive i partnerskab med den globale teknologikoncern Sigfox.

Resultatet af dette samarbejde er blandt andet lanceringen og internationalisering af en trådløs temperatur og fugtighedsmåler til køle- og fryseskabe.

Birgitte Dalgaard, SDU

Kan dyr advare om jordskælv?

Der findes talrige beretninger om, at dyr som høns, får og hunde har opført sig underligt forud for et jordskælv. Men i hvilken grad, den slags historier kan bruges til noget som helst i en videnskabelig tilgang til jordskælvsvarsling har været et omdiskuteret spørgsmål i årtier. Nu har forskere fra det tyske forskningscenter GeoForschungsZentrum i Potsdam set nærmere på de tilgængelige data og har undersøgt, om der er en statistisk korrelation mellem seismisk aktivitet og dyrenes adfærd. Analysen omfatter flere end 700 observationer af hævdede "dyrevarslinger" af 160 jordskælv fra over 20 lande. Observationerne er tilskrevet flere end 130 arter – for eksempel får, slanger og fisk.

Forskerne kiggede blandt andet på såkaldte forskælv, som er mindre rystelser, der nogle gange forekommer i dagene op til – endda flere uger – før det store jordskælv. Analysen viste, at den tidlige fordeling af sådanne forskælv forud for store jordskælv (med en størrelse på 6 og derover på den såkaldte momentmagnitudeskala) svarer til de rapporterede observationer af unormal adfærd for dyr i en afstand af op til 100 kilometer fra jordskælvet. Det antyder ifølge forskerne, at i



Selvom dyr tilsyneladende kan reagere på forskælv forud for store jordskælv, er det yderst tvivlsomt, om dyr kan bruges til at forudsige jordskælv som det, der hærgede Nepal i 2015.

Foto: Shutterstock.

hvert fald en del af de rapporterede dyrevarslinger faktisk er relateret til forskælv.

Nærmere en afklaring af, om dyr kan bruge til jordskælvsvarsling, kan forskerne dog ikke komme i deres analyse. Mange af de dyreobservationer, som forskerne har kigget på, er anekdotiske og uegnede som videnskabelige

data. Men uanset hvor systematisk, man fremover vil kigge på dyreadfærd, er chancerne for at udvikle en skudsikker metode til jordskælvsvarsling på den baggrund nok meget, meget små.

CRK, Kilde: *Bulletin of the Seismological Society of America* (2018). <https://doi.org/10.1785/0120170313>

Nanokrystaller hjælper batteriet

Genopladelige batterier i for eksempel mobiltelefoner og biler er typisk såkaldte lithium-ion-batterier, der virker ved at cirkulerer lithium-ioner mellem to ladede materialer, en negativ anode, der ofte er lavet af grafit og en positivt ladet katode lavet af cobalt eller manganoxid. Nikkel-rige oxider er et lovende alternativ som katodemateriale, da sådanne nikkelloxider både er billige og meget effektive. Det har dog vist sig svært at implementere nikkel-baserede katoder med et højt indhold af nikkel i batterier, blandt andet fordi opløste ioner fra katoden giver anledning til, at der dannes et ustabil lag af elektrolyt på anoden, som drastisk reducerer batteriets



Katoder baseret på nikkelrige oxider kan blive en del af fremtidens batterier til elbiler.

Foto: User RudolfSimon/cc-by-sa-3.0

kapacitet. Denne udfordring har Jaephil Cho fra Ulsan National Institute of Science and Technology i Sydkorea og kolleger nu måske fundet en løsning på. De har udviklet en katode bestående af mere end 80 % nikkel og beklædt den med nanokrystaller af cobalt for at beskytte den mod nedbrydning. Et batteri med denne katode beholdt 86 % af sin kapacitet efter 400 genopladninger ved en temperatur på 25 °C. Forskerne mener, at sådanne nikkel-baserede katoder kan hjælpe med at imødegå det stigende behov for genopladelige batterier i elektriske biler, efterhånden som prisen på cobalt drives i vejret af den store efterspørgsel.

CRK, Kilde: *Energy Environ. Sci.*, 2018, *Advance Article*.

Flere planter på toppen

Der er ikke så koldt på toppen, som der har været. Heller ikke så ensomt.

I hvert fald ikke for de planter, som med den globale opvarmning i hastigt voksende antal finder levesteder på bjergtoppe, der førhen var forbeholdt de mest hårdføre og nøjsomme arter.

Et stort internationalt forskerhold med blandt andet forskere fra Institut for Bioscience ved Aarhus Universitet har konstateret, at antallet af plantearter på 302 europæiske bjergtinder ikke blot er steget betydeligt de seneste halvandet hundrede år – antallet accelerer. Og udviklingen skyldes med sikkerhed temperaturstigning; mængden af nedbør og kvælstof er ikke steget i nær samme omfang i alle områderne.

På de ti år fra 1957-66 steg antallet af arter på hver af de 302 bjergtoppe med gennemsnitlig 1,1 art. Siden er udviklingen accelereret: Alene fra 2007-16 flyttede gennemsnitligt 5,5 nye arter op på hver af de 302 bjergtoppe. At forskerne netop har undersøgt planterne på bjergtoppe skyldes, at disse er geografiske fixpunkter, der er lette at genfinde. På den måde kan man være helt sikker på, at man sammenligner nutidens observationer med gamle optegnelser fra botanikere, der går 150 år tilbage i tiden.

Forskerne har i sagens natur kun kunnet tælle de plantearter, som har reageret hurtigt på temperaturstigningen og har flyttet opad. De har ikke undersøgt antallet af arter, som kunne tænkes at være på vej opad.



En forsker kigger nærmere på en lille plante på alpetoppen Baslersch Chopf.

Foto: Veronika Stöckli, SLF, Schweiz.

Det nye studie, som for nylig er offentliggjort i tidsskriftet *Nature*, får dog ikke forskerne til at slå alarm. Endnu. Studiet har ingen resultater om, hvor vidt det accelererende antal nye plantearter på tinderne har fortrængt nogle af de arter, der har groet der deroppe i årtier. Men tallene tyder på, at det vil ske i

fremtiden. For de arter, der gennem årtusinder har tilpasset sig de kolde og klippefyldte forhold på bjergtinderne har ingen andre steder at flytte hen.

Peter Gammelby, Aarhus Universitet. Kilde: *Nature* vol. 556, pp 231-234 (2018)

Kemisk reaktion med ført hånd

Kemiske reaktioner sker typisk som følge af mere eller mindre tilfældige kollisioner mellem atomer. Et forskerhold ledet af Kang-Kuen Ni ved Harvard University, Cambridge, Massachusetts, har nu elimineret tilfældighedselementet ved at kombinere netop to atomer i en enkelt, kontrolleret reaktion. I eksperimentet nedkølede de natrium- og caesium-atomer til næsten det absolutte

nulpunkt. Derefter fangede forskerne et enkelt atom af hver i en laserstråle med hver sin bølgelængde, hvilket gjorde det muligt at manipulere atomerne individuelt. Ved forsigtigt at fintune retningen og intensiteten af hver laserstråle, kunne forskerne blande de to og guide begge atomer mod det samme punkt og derved fremtvinge en reaktion. På den måde blev der produceret et enkelt natrium-caesium-molekyle.

Forskerne skriver, at teknikken i princippet vil kunne udvides, så man kan skabe mere komplekse molekyler, som for eksempel kan bruges til at studere stoftilstande ved ultralave temperaturer eller til at lagre information i kvantecomputere.

CRK, Kilde: *Science*: DOI: 10.1126/science.aar7797

DEEP LEARNING

– et gennembrud inden for kunstig intelligens

Forfattere

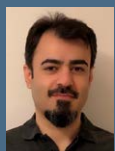


Morten B. Jensen er ph.d.-studerende
mboj@create.aau.dk



Chris H. Bahnsen er ph.d.-studerende
cb@create.aau.dk

Morten og Chris forsker i anvendelsen af deep learning til automatisk trafikanalyse.



Kamal Nasrollahi er lektor og forsker i computer vision og deep learning-metoder til automatisk analyse af ansigter.
kn@create.aau.dk



Thomas B. Moeslund er professor og leder af forskningsgruppen.
tbm@create.aau.dk

Alle arbejder i Visual Analysis of People Laboratory ved det tekniske fakultet for IT og Design på Aalborg Universitet. Forskningen fokuserer på automatisk analyse af billeder og video ved brug af computer vision og machine learning-metoder.



I løbet af de seneste 10 år er kunstige, neurale netværk gået fra at være en støvet, udstødt teknologi til at spille en hovedrolle i udviklingen af kunstig intelligens. Dette fænomen kaldes deep learning og er inspireret af hjernens opbygning.

Hvordan kan en computer vinde over verdensmesteren i GO, hvor der er flere mulige kombinationer på spillepladen end atomer i universet?

Hvordan kan en bil forstå, at der er en fodgænger foran den og selv bremse?

Svaret på denne type spørgsmål er *intelligente computersystemer*, der lærer ved at analysere data – rigtig meget data. Den nyeste metode indenfor dette forskningsområde kaldes *deep learning*. Metoden har på få år revolutioneret store dele af forskningsverdenen og er nu på vej ud i alle grene af samfundet, hvor den forventes at få afgørende betydning.

Et gammelt ordsprog siger, at viden er magt! Måske er data et af de vigtigste elementer i dannelsen af viden, men hvordan man styrer og udnytter data, er endnu vigtigere.

Derfor har forskere altid forsøgt at udvikle avancerede måder til indsamling af data for derefter at udnytte det bedst muligt. For at finde inspiration til at udvikle bedre data-behandlingsteknikker har forskere kigget på hjernens opbygning og opførsel i håb om at kunne opnå en forståelse, der efterfølgende kan implementeres i computere. Dette forskningsområde kendes også som kunstig intelligens. På grund af hjernens komplekse struktur har det altid været meget udfordrende at forstå hjernens grundlæggende funktionalitet for derefter at opbygge et hjerne-lignende system. På trods af, at ingeniører længe har formået at konstruere systemer, der kan efterligne hjernen ved simple opgaver, så har forskere stødt hovedet mod muren, når det kom til at konstruere systemer, der er i stand til at løse mere udfordrende opgaver, for eksempel genkendelse af objekter.

Imidlertid har nylige fremskridt inden for dataindsamling og rå processe-

ringskraft gjort det muligt at bygge systemer baseret på kunstig intelligens, der kan løse komplekse problemer som objekt-detektion, -genkendelse og tracking. Systemerne er nu så gode, at de i nogle tilfælde klarer sig bedre end menneskelige eksperter.

Disse systemer bliver trænet ved hjælp af massive datamængder gennem matematiske algoritmer, der er bedre kendt under paraplybetegnelsen *deep learning*. Før vi kommer nærmere ind på det, må vi en tur omkring hjernen for at få en grundlæggende forståelse af disse systemer.

Hjernen

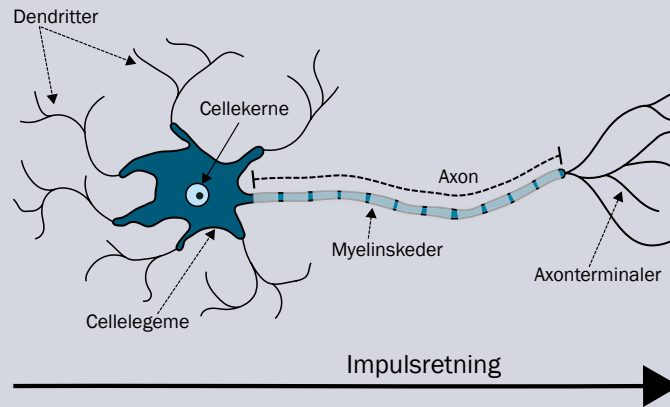
Hjernen er en af de mest komplekse strukturer, vi kender. Den er opbygget af 100 milliarder celler kaldet neuroner, og der er cirka samme antal neuroner i hjernen, som der er stjerner i Mælkevejen.

En gruppe af disse små hjerneneuroner, der er internt forbundet med

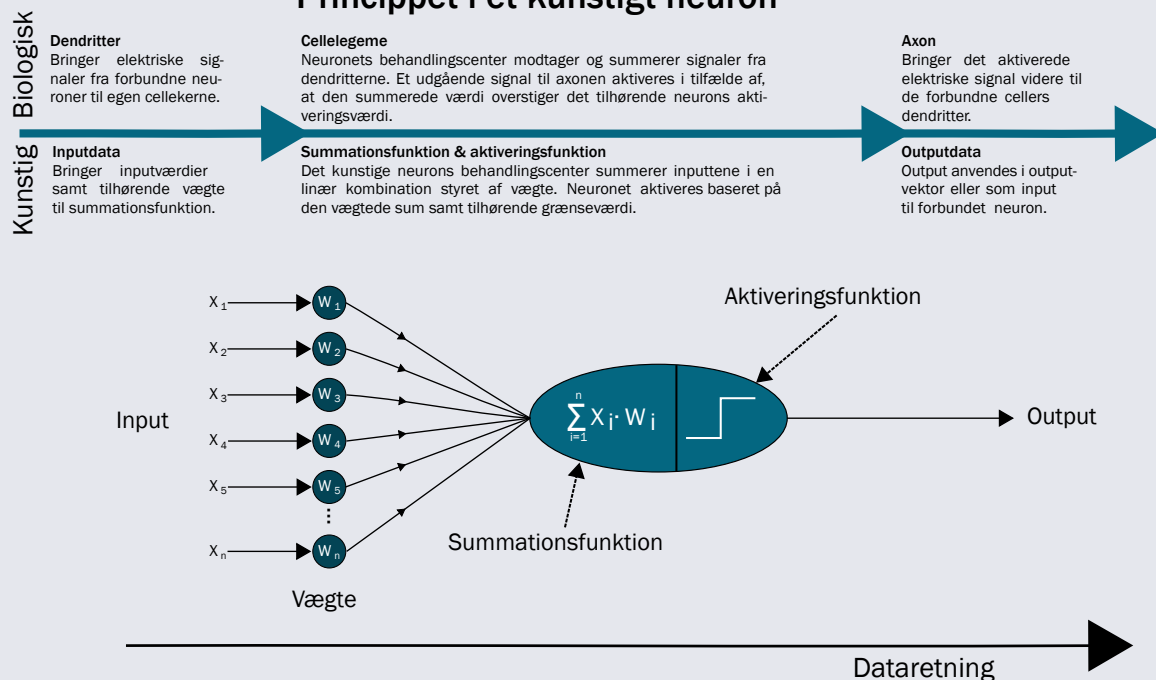
Neuroner er hjernens byggesten

Hvert neuron har:

- et cellelegeme, indeholdende kernen, som er neuronets behandlingscenter.
- et sæt indgangsforbindelser, dendritter, som bringer signaler fra de andre neuroner til kernen i det nuværende neuron.
- en axon, som overfører resultaterne af behandlingen af indgangssignalerne i kernen til de neuroner, der er forbundet til det aktuelle neuron via sine udgangsforbindelser (axonterminaler).



Princippet i et kunstigt neuron



hinanden, er ansvarlige for at udføre en specifik opgave. For eksempel udføres matematiske operationer i en bestemt del af hjernen, mens følelser opfattes af en anden gruppe neuroner. Ved løsning af specifikke opgaver viser de ansvarlige grupper af neuroner mere elektrisk aktivitet end resten af hjernen. Disse elektriske aktiviteter skyldes frigivelse af kemiske stoffer mellem neuronerne, der er internt forbundet med hinanden. Hvis summen af kemiske stoffer ved neuronet er større end et bestemt niveau, bliver neuronet aktiveret. I modsat fald forbliver det passivt.

Når vi som menneske prøver at lære en bestemt opgave, for eksempel

når en baby lærer at gå, gennemføres denne læring gennem adskillige forsøg. Under disse forsøg lærer hjernen, eller rettere: En specifik gruppe neuroner lærer, hvordan de skal aktiveres for at udføre den specifikke opgave. Mængden af de kemiske stoffer, der frigives mellem neuronerne, definerer graden af forbindelse, også kaldet vægtningen, mellem de tilsluttede neuroner.

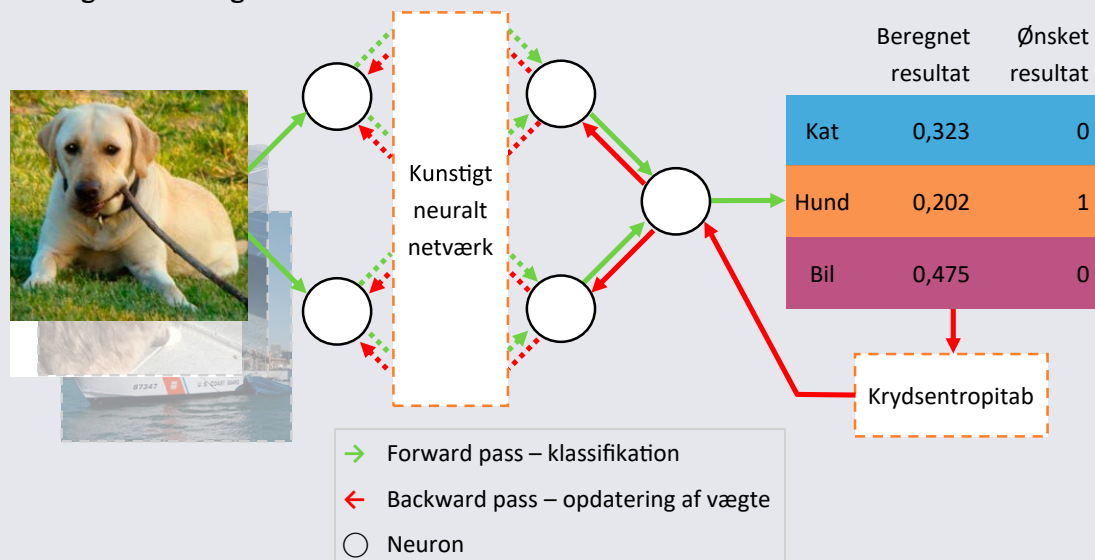
Man kan simulere det biologiske neuron med en matematisk funktion, der består af en lineær kombination af alle inputs til neuronet. Den lineære kombination styres af vægtene af de enkelte inputs. Denne sum af vægtede input svarer

til mængden af de kemiske stoffer, der kommer til et neuron. Derefter bestemmer en såkaldt aktiveringsfunktion, om neuronet skal aktiveres eller forblive passivt. Hvis den vægtede sum er større end en given grænseværdi, aktiveres neuronet.

Et kunstigt neuralt netværk består af en kombination af disse kunstige neuroner i forskellige lag, der er internt forbundet med hinanden gennem vægtede forbindelser. Antallet af lag beskriver *dybden* af netværket. Man betegner et neuralt netværk som dybt, hvis det indeholder tre eller flere lag.

Aktiveringsfunktioner spiller en

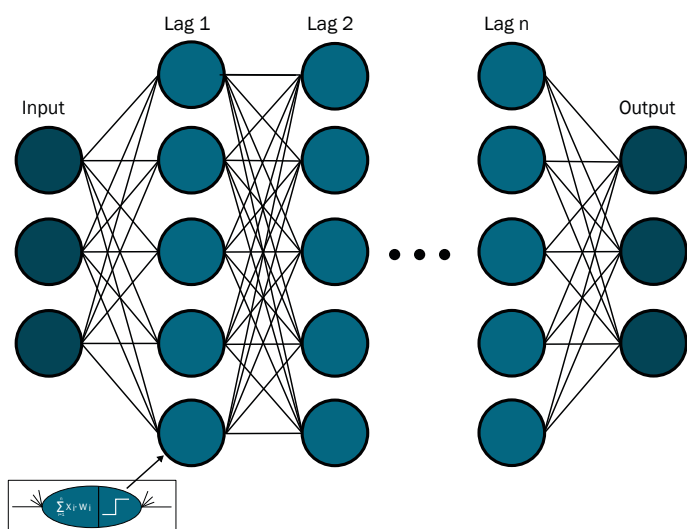
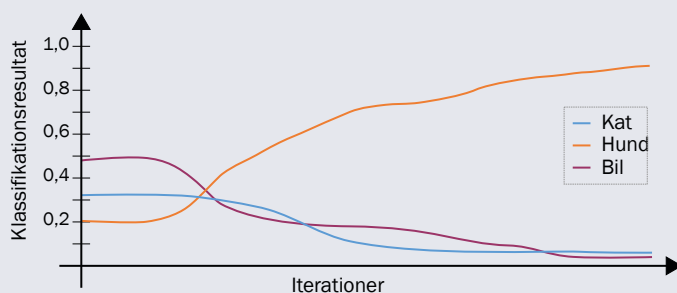
Træning af et kunstigt neuralt netværk



Netværket trænes ved at udregne dets respons for en række billeder (grønne pile), hvor vi på forhånd har defineret det ønskede resultat (annoteret data). Forskellen mellem det ønskede resultat og det beregnede resultat beregnes i det såkaldte krydsentropitab, som føres baglæns gennem netværket for at opdatere dets vægte (røde pile).

To af nøgleordene bag denne læringsalgoritme er differentiability og kædereolen for differentiering af sammensatte funktioner. Alle de neuroner, som et kunstigt neuralt netværk er sammensat af, er grundlæggende (stykvist) differentierbare funktioner. Det betyder, at vi kan flytte det samlede netværks opførsel ved, neuron for neuron, at finde gradienten for den partielt differentierede funktion, opdatere funktionens vægte på baggrund heraf, og føre gradienten videre til de neuroner, som funktionen er forbundet til. Denne proces gentages for hver iteration, indtil alle neuroner er opdateret.

Iterativ læring af et kunstigt neuralt netværk. I starten resulterer netværket ikke i andet end støj, men jo flere annoterede billeder, der køres igennem netværket, jo bedre bliver det til at klassificere billeder af hunde som "hund".



I et Multi-Layer Perceptron (MLP) netværk er alle neuroner forbundet til hinanden imellem lagene.



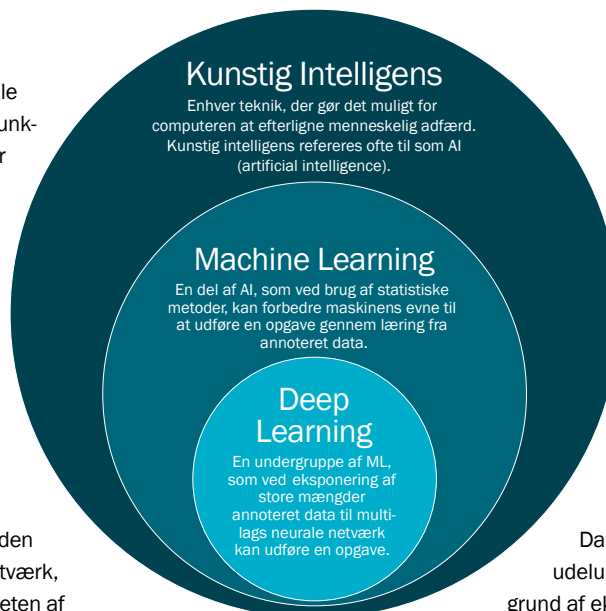
Overlejrerede annoteringer af objekter i trafikken, hvor hver farve indikerer en kategori. Denne type data er fx vigtig for træningen af selvkørende biler.

nøglerolle i kunstige neurale netværk. Hvis aktiveringsfunktionen udelukkende består af lineære funktioner, kan det kunstige neurale netværk udelukkende beskrive lineære fænomener, og dets samlede funktion kan grundlæggende beskrives af én stor matrix. Hvis aktiveringsfunktionen derimod ikke kan beskrives som en lineær kombination af dens input, er det kun dybden af det kunstige neurale netværk, der begrænser kompleksiteten af de funktioner, som netværket kan beskrive.

Læring

For at lære et kunstigt neuralt netværk at udføre en specifik opgave kræves en læringsalgoritme, hvis formål er at finde de rette vægte mellem netværkets neuroner. Vægtene læres gennem adskillige iterationer, hvor det neurale netværk præsenteres for store mængder træningsdata. Hver enkelt stykke data er annoteret, det vil sige, at det er parret med den ønskede respons fra det neurale netværk – for eksempel at et billede af en hund hører til kategorien "hund", hvis formålet med det neurale netværk er at genkende objekter i billeder. Når billedet er kørt igennem det neurale netværk, giver netværket dets bud på hvilken kategori, billedet tilhører. Herefter udregnes forskellen mellem det beregnede og det ønskede resultat, hvilket kaldes krydsentropitabet. Det beregnede krydsentropitab fødes herefter baglæns ind i det neurale netværk og opdaterer vægtene i retning af det ønskede resultat.

I starten resulterer det neurale netværk ikke i andet end støj. Men ganske langsomt, iteration for iteration, lærer netværket at tilpasse sig det pågældende træningsdata. Når det beregnede resultat konvergerer mod det ønskede resultat, er træningen afsluttet og netværket er nu specialiseret i at klassificere datasættet. Hvis datasættet indeholder tilstrækkeligt mange annoterede billeder



og er repræsentativt for de ønskede kategorier, for eksempel hunde og katte, har man nu en udmærket hunde- og kattedetektor.

Hvorfor først nu?

Kunstige neurale netværk går tilbage til 1940'erne. Disse netværk var imidlertid ikke særlig populære i samtiden på grund af den beregningsmæssige kompleksitet og manglende træningsdata.

Den beregningsmæssige kompleksitet skyldes, at et netværk, der kan løse praktiske problemer, indeholder mindst tre lag med mange neuroner i hvert lag, der er internt forbundet med hinanden. Denne type netværk er kendt som en Multi-Layer Perceptron (MLP). I en MLP er hvert neuron i et lag forbundet til alle neuroner i det næste lag af netværket. Dette fænomen, der er kendt som fuldt forbundne netværk, resulterer i store matrixer, der beskriver vægtningen af neuronernes forbindelser. De store matrixer fører igen til beregningsmæssigt krævende læringsalgoritmer, der i mange år var for store til, at computere kunne håndtere dem. Dette ændrede sig dog med introduktionen af såkaldte Graphics Processing Units (GPU) i 1990'erne, som tilbød hurtig og parallel databehandling. Brugen af GPU'er har gjort det muligt at implementere neurale netværk i praksis, hvorefter deres popularitet kun er steget. Faktisk er neurale netværk nu blandt de allerbedste værktøjer, der er i stand

Sammenhæng mellem Kunstig Intelligens, Machine Learning og Deep Learning.

til at løse meget komplicerede problemer som billedbaseret objektkendelse. Denne succes skyldes imidlertid ikke kun udviklingen af bedre GPU'er, men også tilgængeligheden af enorme mængder data.

Da kunstige neurale netværk udelukkende kan lære på baggrund af eksempler, er tilgængeligheden af eksempeldata kritisk. Jo mere data, jo bedre er læringsprocessen. Imidlertid var store databaser ikke så almindelige for blot 10 år siden. Men siden 2010 er enorme databaser gradvist blevet opbygget. Et eksempel er ImageNet, der består af cirka 14 millioner annoterede billeder, inddelt i mere end 20.000 forskellige kategorier.

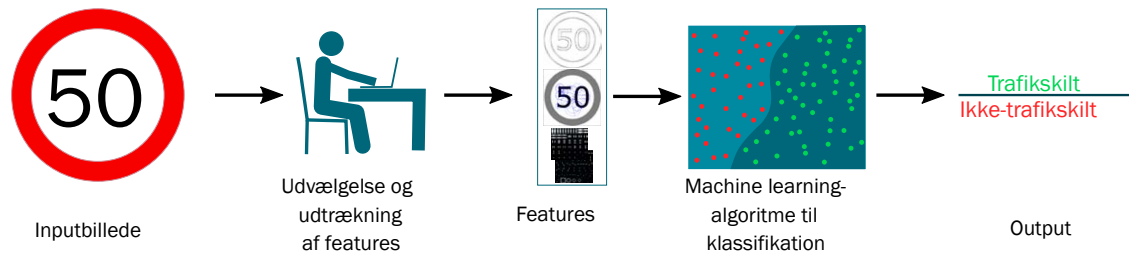
De fleste billeder i ImageNet indeholder kun én annotering, det vil sige at hele billedet tilhører én kategori. En anden og mere omfattende måde at annotere billederne på er at definere det specifikke område i billedet, der indeholder et givent objekt – for eksempel fodgængere, cyklister, biler og trafikskilte.

Fra machine learning til deep learning

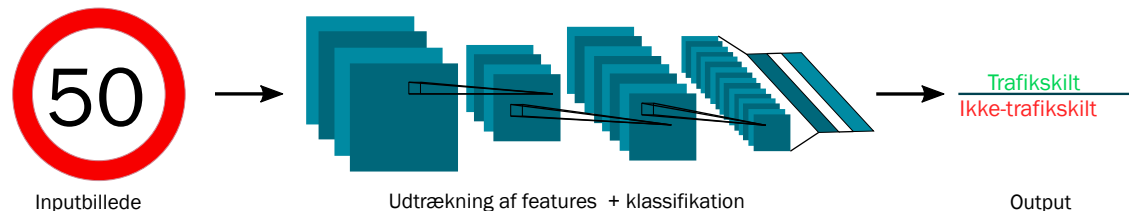
Traditionelle machine learning-teknikker er baseret på at udvikle og udvælge specifikke karaktertræk, også kaldet features, ved de objekter, man ønsker at finde og genkende. Det har betydet, at forskere tidligere har brugt tid på manuelt at definere features, som efter deres vurdering var unikke og gav en god repræsentation af de ønskede objekter.

Til detektion af trafikskilte vil man i traditionel machine learning udvælge features, der kan beskrive skiltets cirkulære form og dets karakteristiske røde kant. Herefter udvælger man manuelt en eller flere metoder, der kan konvertere de ønskede fea-

Traditionel machine learning



Deep learning



Sammenligning af workflowet for traditionel machine learning og deep learning. I modsætning til traditionel machine learning kræver deep learning ikke manuel udvælgelse af features.

tures til en matematisk repræsentation. Disse features bruges til at træne en machine learning-algoritme, som benytter de udregnede features til at skelne mellem trafikskilte og ikke-trafikskilte.

Til trods for, at det i sidste ende er computerens algoritmer, der udregner det endelige resultat, indebærer traditionel machine learning en del manuelt arbejde med at definere hvilke features, der er relevante. Deep learning har til forskel fra machine learning ingen behov for menneskelig indblanding i forbindelse med udvælgelse og udformning af features.

Det kræver dog stadig menneskelig indblanding, når deep learning-netværkene skal designes. Det gøres for eksempel ved at definere netværkets størrelse, det vil sige hvor mange lag, netværket skal bestå af.

Et lag består af en række funktioner. Den vigtigste funktion i moderne neurale netværk er en såkaldt convolution (på dansk en foldning), og derfor kaldes disse netværk også Convolutional Neural Networks (CNN'er). Convolution er en matematisk operation, der benytter sig af et filter. Filtrenes overordnede funktion er at trække features ud af inputbilledet, og et moderne neuralt

netværk indeholder rigtig mange filtre, der er grupperet i flere convolution-lag. Populære deep learning-netværk som AlexNet, VGG, GoogLeNet og Microsoft ResNet er alle CNN'er, og de indeholder henholdsvis 8, 19, 22 og 152 lag. Outputtet fra convolution kaldes et feature map, og det er udgangspunktet for et andet meget anvendt lag i neurale netværk kaldet pooling. Denne funktion reducerer størrelsen på de feature maps, der genereres fra convolution-laget, således at man opnår en mere kompakt repræsentation.

En af årsagerne til, at CNN fungerer så godt, er, at netværkene selv kan lære at sammensætte både simple og komplekse features i deres convolution-lag – uden at man som operatør specifikt beder dem om at gøre sådan.

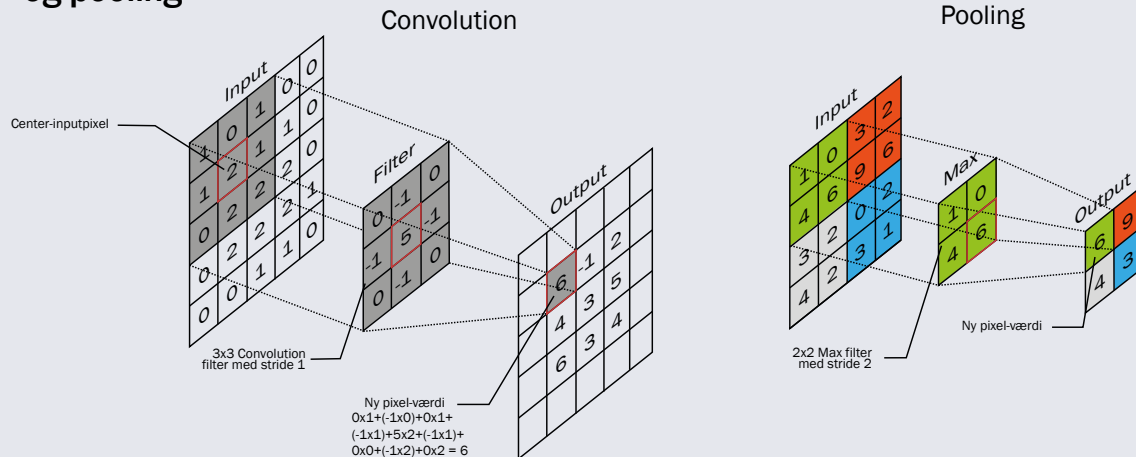
Tidkrævende træning

Hvert convolution-filter er specialiseret i at genkende et specifikt mønster, og der skal derfor en kombination af mange filtre til at genkende forskellige objekter. Det populære AlexNet-netværk, som startede deep learning-bølgen, består af fem convolution-lag. Det første convolution-lag indeholder 96 forskellige filtre, som hver har en størrelse på 11x11 pixels. Dette producerer 96 feature maps med dimensionerne

55x55 pixels, svarende til 290.400 neuroner. Hver enkelt af disse neuroner har $11 \times 11 \times 3 = 363$ vægte og 1 bias. Det første convolution-lag alene har dermed $290.400 \times 364 = 105.705.600$ forbindelser. Totalt set har de 5 convolution-lag i AlexNet over 600 millioner forbindelser med over 60 millioner parametre, der bliver justeret gennem de mange træningsiterationer med store mængder træningsdata. Det er de enormt mange forbindelser og parametre, der gør CNN'er i stand til at tilpasse sig mange forskelligartede opgaver, hvis bare de bliver trænet på tilstrækkelige store mængder af nøjagtigt og repræsentativt annoteret data.

Men denne træning er en tidskrævende opgave, der indebærer mange gentagne gennemkørsler af hele det annoterede data. På en nyere gamer-computer vil det derfor tage over en uge at træne AlexNet på ImageNet-databasens 14 millioner billeder. Det er i den forbindelse værd at nævne, at AlexNet er et ældre netværk med 8 lag, hvor Microsofts nyere ResNet indeholder 152 lag. Hvis man ønsker at træne dette netværk, må man gange træningstiden med 19. Store netværk, store datamængder og store krav til processeringskraften hænger derfor uløseligt sammen.

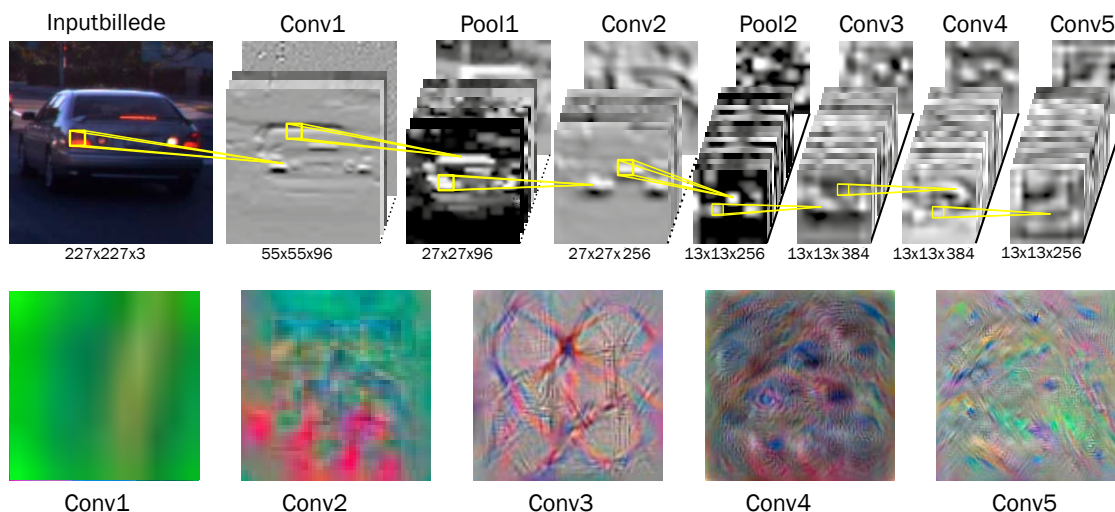
Convolution og pooling



De vigtigste funktioner i moderne neurale netværk er såkaldt convolution og pooling, som er illustreret i figuren. I eksemplet på convolution benytter vi et filter af størrelsen 3x3 pixels med udgangspunkt i den pixel, der er markeret med rød ring. Convolution består i, at man anvender 3x3 filteret på den "røde" centerpixel samt dets nabopixels, illustreret med det grå område i inputmatricen. Den resulterende pixelværdi i outputmatricen opnås ved at gange filterets vægte på de tilhørende pladser i inputmatricen for derefter at summere resulta-

tet. Herefter rykker vi vores 3x3 filter én gang til højre og gentager udregningen.

I eksemplet på pooling bruges her et såkaldt max pooling-filter med en størrelse på 2x2 pixels og en stride på 2 pixels. En stride på 2 pixels betyder, at vi flytter filteret 2 pixels til højre efter hver operation. Maxfilteret undersøger alle værdierne i et 2x2 område, tager den højeste værdi heri og smider de øvrige værdier væk. Den højeste værdi udgør nu den nye pixelværdi i outputmatricen.



Eksempel på et AlexNet-inspireret neuralt netværk med 5 convolution-lag og 2 pooling-lag samt dertil hørende lærte features for hvert convolution-lag (øverst). Conv-lagene ændrer sig gradvis fra at være ret genkendelige omrids af bilen i conv1 til mere komplekse strukturer i conv5, som knap nok er genkendelige for det menneskelige øje.

Den nederste del af figuren visualiserer, hvad 1 tilfældigt udvalgt feature-map i hvert af de 5 convolution-lag reagerer på i billedet. Conv1-features repræsenterer kanter og farveforskelle i forskellige retninger, mens de senere convolution-lag repræsenterer komplekse, specialiserede mønstre.

Ikke begrænset af menneskelige sanser

Det ser i store træk ud til, at deep learning og kunstige neurale netværk virker som hjernen ved løsning af bestemte opgaver. Det betyder, at kunstig intelligens i princippet vil kunne klare det samme som et

menneske. Potentialet er dog endnu større for den kunstige intelligens, da dets input ikke er begrænset til de menneskelige sanser, men vil kunne opfatte verden gennem et utal af sensorer og have adgang til ufattelige mængder information. For at nå så langt kræves der dog bety-

delige fremskridt indenfor udvikling af læringsalgoritmer og håndtering af information. På vejen dertil vil deep learning ændre fremtiden i mange forskellige applikationer og sektorer, fra sikkerhed og finans til medicin og transport. Vi er glade for at være en del af dette spændende eventyr. ■

Havisen i Arktis
Foto: E. Storheim,
Nansen Centeret

Om forfatterne:



Sebastian H. Mernild (ph.d. og dr. Scient.) er professor i klimaforandringer og administrerende direktør ved forskningscenteret Nansen Centeret i Bergen. Han er udpeget af IPCC's Working Group I Bureau til at være Lead Author på den kommende IPCC rapport, AR6. sebastian.mernild@nersc.no



Yngve Kristoffersen (ph.d.) er professor emeritus ved Universitetet i Bergen. Han har solide erfaringer med luftpudebåden gennem ekspeditioner i Polarhavet.



Hanne Sagen (ph.d.) er gruppeleder indenfor polar akustik og oceanografi ved Nansen Centeret.



Stein Sandven (ph.d.) er forsknings direktør ved Nansen Centeret, samt leder af det store EU-finansierede projekt INTAROS (Integrated Pan-Arctic Observation System).

MELLEM ISRYGGE OG ÅBENT VAND

Havisen ved Arktis svinder i en grad, så sommerhavisen kan være helt forsvundet om 20–35 år. Ved hjælp af blandt andet en luftpudebåd skal forskere nu kortlægge havtemperaturudviklingen under havisen og dens indflydelse på havisen.

Kulde, midnatssol og stilhed kendetegner ofte feltarbejde på havisen, hvor stilheden kortvarigt brydes af lyden fra opsprækkende havis. I den kommende tid vil stilheden også brydes af luftpudebåden *Sabvabaa*'s propelmotor. Luftpudebåden er det foretrukne transportmiddel til at komme rundt i alle afkroge af havisen og mellem havisflagerne for at indsamle havis og oceanografiske data. Luftpudebåden gør jagten på de optimale feltdata lettere.

I 2019-2020 vil et stort internationalt forskningsprojekt samle sig rundt om MOSAiC-programmet, hvor isbryderen *Polarstern* skal drive med havstrømmen over Polarhavet.

Luftpudebåden bliver en vigtig brik i denne forskning, da den kan noget, som isbryderen ikke kan: Den kan nemt bringe forskere rundt på havisen mellem de lokaliteter, hvor havisen for eksempel måtte være stuvet sammen i op til 10 meter høje isrygge.

Anvendelsen af luftpudebåden åbner op for forskningsmæssige muligheder, da observationer på, af og i havet under havisen nu kan finde sted på alle tider af året – uden at det fysiske miljø "ødelægges" af isbryderens spor gennem isen. Med luftpudebåden kan vi have feltekspeditioner i gang og indhente feltdata fra havisen og randzonen og fra de steder, som tidligere var mindre fremkommelige.

Havisen svinder

Baggrunden for forskningsprojektet er, at satellitovervågning over de seneste cirka 40 år har vist en dramatisk reduktion af den arktiske havis, som ikke bare forklares ved en varmere overfladelufttemperatur og ændrede vindforhold. Siden 1979 er sommerhavisarealet (angivet for september) i gennemsnit blevet omkring 35 procent mindre i udbredelse, svarende til cirka 40 gange Danmarks landareal. Havisprognoserne fra klima- og havmodeller er mange og usikre, men alle er de kendetegnet ved, at de underestimerer reduktionen i arealet af havisen – de er med andre ord ikke i stand til at genskabe den hurtige afsmeltning af havisen. Disse prognoser foreslår, at havet rundt om



En nysgerrig isbjørn undersøger luftpudebåden.



Forskere ombord på Sabvabaa, hvor kontor-, køkken- og sovefaciliteter går ud i et. Fotos: Y. Kristoffersen.



Arbejde på havisen, hvor et af Norges kystvagtsfartøjer ses i baggrunden.

Luftpudebåden Sabvabaa på havisen i Arktis. Luftpudebåden er ideel som transportmiddel på havisen, i særdeleshed i begyndelsen og slutningen af vinterperioden, hvor havisen er tynd og usammenhængende og derfor ikke kan bære en helikopter, men også gennem den arktiske vinter, hvor helikoptere oftest har flyveforbud på grund af mørket og ringe sigtbarhed.

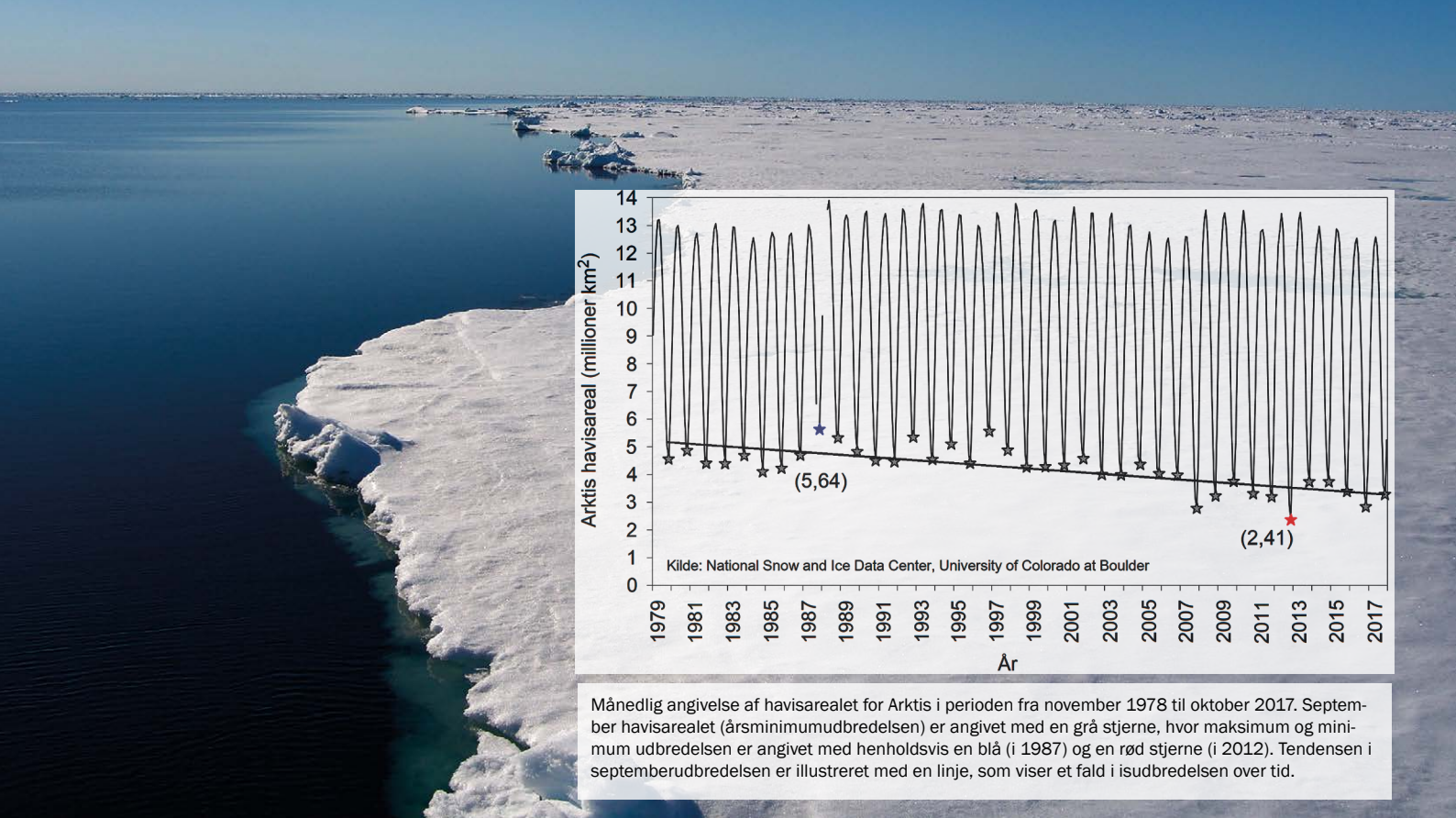
En moderne forskningsplatform

Sabvabaa er en logistisk forskningsplatform til indsamling af geofysiske data på og under havisen i de mest utilgængelige områder i Polhavet. Luftpudebåden er ligeledes en sikkerhedsæssig gevinst, når der arbejdes på isen, sammenlignet med brug af helikopter og snescootere. Navnet Sabvabaa stammer fra sproget *Inupiaq* (de indfødtes sprog i Alaska) og betyder noget i retning af "at svæve over noget". Luftpudebåden er 12 meter lang og 5 meter bred og vejer 5 tons uden udstyr og mandskab. Den kan laste 2,2 tons (inklusive et mandskab på 3-4 personer). Fuldt lastet kan den opnå en fart op til cirka 80 kilometer i timen, og den har en rækkevidde på cirka 800-900 kilometer.

Albedo - tilbagekoblingsmekanismer

Udviklingen i lufttemperaturen i Arktis kan forstærkes af såkaldt positive feedback-mekanismer som albedo-tilbagekoblings-mekanismen. Albedo er et videnskabeligt udtryk for forholdet mellem mængden af reflekteret solenergi fra overfladen og den totale mængde solenergi, der rammer overfladen. Når havisens areal

formindskes over tid reflekteres mindre solindstråling (om sommeren), hvor mere af solindstrålingen absorberes og optages som varme i de øvre vandmasser. En ændring i havisen virker derfor selvforstærkende, og har potentiale til yderligere at forstærke opvarmningen i Arktis.



Det “arktiske grydelåg”

Havis er det lag af is, der dannes i havoverfladen – i de øverste meter af vandsøjlen – når havvandet rammer frysepunktet. Havisen kan betragtes som et “utæt grydelåg” beliggende mellem den relativt kolde atmosfære, der om vinteren er omkring -30 grader celcius, og det relativt varmere havvand med et frysepunkt på -1,8 grader celcius. Havisen har en isolerende effekt, hvor energi- og fugtighedsudveksling mellem havvand og atmosfæren foregår næsten udelukkende igennem sprækker og/eller åbninger i isen, der kan eksistere i kortere eller længere tid, samt de steder på havisen, hvor snetykkelsen er minimal. Hvor der er åbent vand, sker der en direkte udveksling mellem havvandet og den nedre del af atmosfæren. Jo mere åbent vand, jo større udveksling til atmosfæren.

Havisen ændrer udbredelse, areal og tykkelse over året – hvor minimumsudbredelsen ses i september (sidst på sommersæsonen) og maksimumsudbredelsen i marts (sidst på vintersæsonen) – i takt med, at solens indstråling og temperaturerne ændrer sig over året. I perioden siden 1979 (hvor satellitovervågning af isen har været mulig), opnåede den arktiske havis sit hidtil mindste areal i september 2012 på 2,41 millioner kvadratkilometer.

Selvom vi umiddelbart ser en større isudbredelse idag end dette 2012-minimum, er meget af den tykke flerårsis blevet erstattet med tyndere et-årsis. I dag ses derfor et tyndere og mere sårbart havisdække, der er mindre robust over for en varm sommer end havisen var i 1970'erne og 1980'erne. I begyn-

delsen af 1980'erne var omkring 25 procent af havisarealet mere end 4 år gammelt, hvor det i dag er nede på ganske få procenter. Arealet af havisen, som var mindre end et år gammelt, udgjorde i begyndelsen af 1980'erne omkring 40 procent. I dag er dette tal på omkring 70 procent.

Forandringerne skyldes hovedsageligt opvarmningen af både luft- og havtemperaturen. Alene fra 1990 til 2000 steg middelhavtemperaturen under havisen med cirka én grad celcius. Middellufttemperaturen siden 1950'erne er til sammenligning steget med over to grader celcius. Hvad der er sket med middelhavtemperaturen under havisen efter 2000 vides ikke. Men det vil vi blive meget klogere på, når vi med hjælp fra blandt andet luftpudebåden får samlet nye data ind de kommende år.

Havisen i Arktis
Foto: E. Storheim,
Nansen Centeret

Nordpolen (Polarhavet) vil være isfrit i sommerperioden om 20–35 år.

Satellitebilleder giver til sammenligning pålidelige informationer om havisens udbredelse, bevægelse, alder og koncentration, men de kan ikke direkte anvendes til at sige

noget om fremtiden eller om, hvad der sker i havet under havisen. For at øge vores viden og styrke modelforudsigelserne af havisens udvikling og samspil med atmosfæren og havet må vi i højere grad forstå de fysiske processer og forbedre beskrivelsen af dem i havismodel-

lerne samt koble disse modeller til atmosfære- og havmodeller.

Under isen i Polarhavet forekommer et 100–200 meter tykt relativt ferskt vandlag, som har en temperatur nær frysepunktet. Dette vandlag ligger på toppen af varmere og

mere saltholdige vandmasser, som kommer strømmende ind i det Arktiske basin fra Atlanterhavet gennem Fram Strædet mellem Grønland og Svalbard. Dette koldere vandlag har en isolerende effekt og hindrer havisen i at komme i kontakt med det relativt varmere og dybere liggende atlantehavsvand. Når havisen bliver tyndere, vil isen lettere sprække op – og atmosfæren vil opvarme overfladevandet. Dette skaber dels en ubalance, dels blandingsmekanismer, hvor det isolerende kolde vandlag opvarmes samt blandes med det varmere atlantiske havvand. Da vil havisen komme i kontakt med varmere havvand, hvorved havisen smelter fra undersiden samtidig med, at atmosfæren smelter havisen ovenfra. Disse ændringer i temperaturforholdene og tilhørende småskala-processer i havet under havisen er vigtige at observere og forstå, hvis vi vil minimere usikkerheden om havismodelernes forudsigelser.

Feltarbejde

Med hjælp fra den amerikanske og den norske kystvagts vil der blive udsat undervandsmålestationer

i Polarhavet. Målestationerne er udstyrede med et utal af sensorer, inklusive akustiske sensorer, til at indsamle informationer om havisen og om temperaturforholdene under isen på forskellige dybder. Temperaturforholdene under isen hen over året kan bestemmes gennem nøjagtige målinger af den tid, det tager at sende lydbølger fra luftpudebåden og til en bestemt målestation, da der er en sammenhæng mellem for eksempel udbredelseshastighed, havtemperatur og salinitet. Ud fra dette kan vi lave pålidelige estimater af middelhavtemperaturen. En anvendelse af luftpudebåden er dermed en enestående mulighed for at indsamle data henover sæsonen – også under ugunstige havisforhold i Polhavet.

Fra sensommeren 2019 og et år frem skal isbryderen *Polarstern* som nævnt drive på tværs af Polarhavet. Programmet MOSAiC vil give forskere fra 60 forskningsinstitutioner mulighed for at foretage multidisciplinære målinger i Polarhavet. En tilsvarende dataindsamling har ikke fundet sted siden 2007–2009. Indenfor MOSAiC-programmets ramme forventes

det, at luftpudebåden opererer i en afstand af 10–15 kilometer fra Polarstern – på behørig afstand, da isbryderen i sagens natur vil bryde havisen op og ændre det naturlige fysiske miljø. Luftpudebåden vil operere rundt om Polarstern – og logistisk støtte fra Polarstern – og give forskerne større operationsradius med øget sikkerhed end tidligere og med minimalt miljøaftryk. Luftpudebåden vil blive anvendt som "lydkilde", som sender signaler til målestationerne placeret strategiske steder i Polarhavet med en indbyrdes afstand på 300–400 km.

Nøglen til en bedre forståelse

Indenfor naturvidenskabelig forskning er ny teknologi og nyt udstyr ofte helt afgørende for at forskningen flytter sig fremad. Luftpudebåden er et godt eksempel på dette, da den har vist sig at være nøglen til en nemmere infrastruktur i det barske, uberørte og fascinerende Polhav. På den måde kan vi forske nu indsamle data og viden, som vi tidligere havde besvær med at indsamle. Og det kan gavne vores fælles forståelse af et Arktis under dramatisk og hastig forandring. ■

Videre læsning og informationer:
Hall, J. K. og Y. Kristofersen 2009. The R/H Sabvabaa—A research hovercraft for marine geophysical work in the most inaccessible area of the Arctic Ocean. *Geophysics of the Northern Frontiers*, 932–935.

Schmith, T. og Tonboe, R. 2007. Det frosne hav. *Aktuel Naturvidenskab*, 4, 24–27.

Snow and Ice Data Center: www.nsidc.org

The Multidisciplinary drifting Observatory for the Study of Arctic Climate (MOSAiC): www.mosaicobservatory.org/

ASTRONOMI

Ny specialisering på SDU

13,7 mia. år efter Big Bang sker det endelig.

Nu kan du læse Astronomi på SDU og fordybe dig i studier af Universet – fra solsystemet til sorte huller og fra kosmologi til mørkt stof.

Astronomi er en specialisering inden for Fysik. Så vil du være astronom fra SDU, skal du søge ind på bacheloruddannelsen i Fysik og følge kurser inden for Astronomi, Astrofysik og Kosmologi. Du kommer til at arbejde med SDUs helt nye teleskoper og skal på kandidatuddannelsen på studietur til La Palma og benytte et af Europas største teleskoper.

Som studerende bliver du en del af et særdeles dedikeret forskningsmiljø. SDU ligger helt i top inden for fysikforskning i Norden, og vi er

verdensledende inden for forskning i teorier om, hvad universet består af, og hvordan det er opstået. SDUs forskere og astrofysiker Anja Andersen er undervisere på specialiseringen.

Mange karrieremuligheder

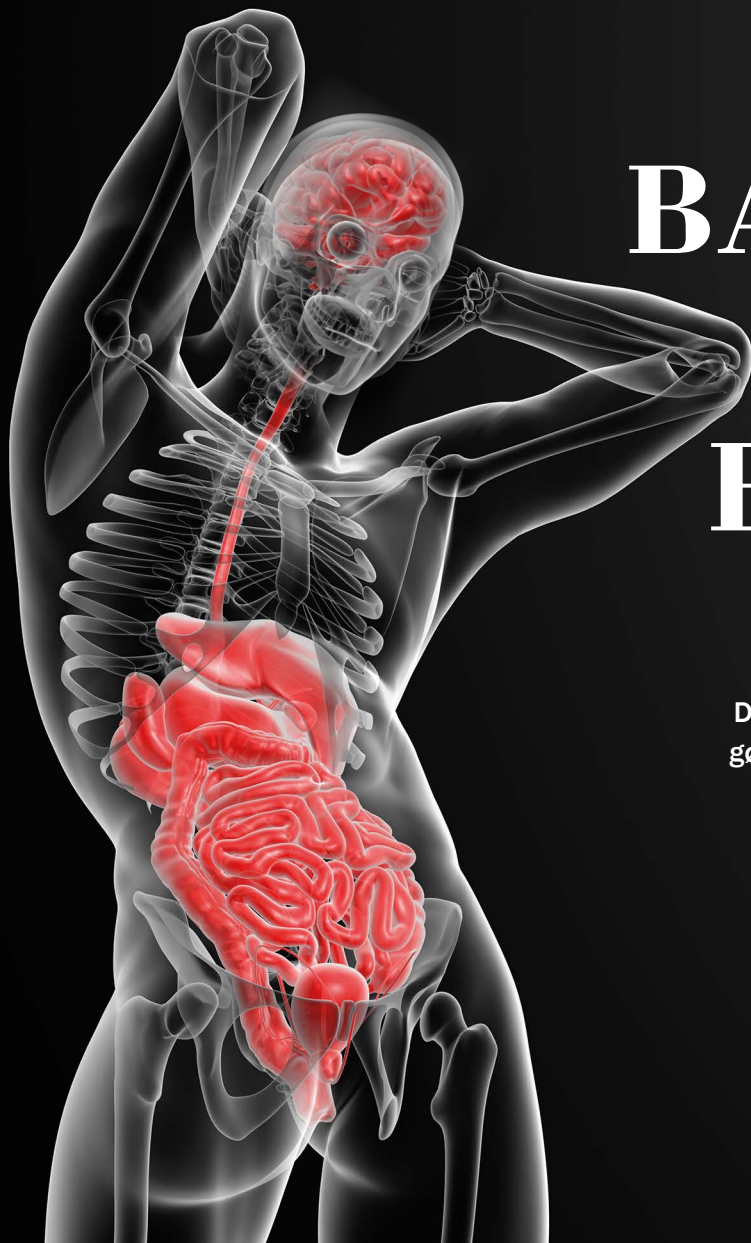
Specialiseringen i Astronomi giver dig undervisningskompetence i Astronomi, Fysik og evt. også Matematik i gymnasiet. Du får også karrieremuligheder i robotindustrien, finansverdenen, IT-branchen og andre områder, som arbejder med problemløsning på højt niveau. Eller du kan vælge at blive forsker og være med til at gøre nye spændende opdagelser inden for de mange områder af universet, som stadig er ukendte. Endelig kan du arbejde med vidensformidling.

Læs mere om specialiseringen i Astronomi på sdu.dk/Fysik

SDU

DET NATURVIDENSKABELIGE
FAKULTET

Ansøgningsfrister: **Kvote 2:** 15. marts · **Kvote 1:** 5. juli



BAKTERIER PÅ HJERNEN

De utallige bakterier, som lever i vores krop, gør andet og mere end at fordøje vores mad.

Faktisk tyder nyere forskning på, at bakterierne i vores tarme er i direkte dialog med hjernen.

Illustration: Colourbox

Vi opfatter typisk mennesket som en selvstændig organisme. Men hvad vi ofte glemmer er, at vi ikke er alene i egen krop. Mennesket agerer økosystem for milliarder af mikroorganismer, faktisk så mange at der er flere mikroorganismer end menneskelige celler i vores krop. Af disse mange mikroorganismer kender vi mest til bakterierne, som indtil for få år siden hovedsageligt blev opfattet som blinde passagerer, der ikke havde nogen nævneværdig effekt på den menneskelige vært. Det har dog i senere år vist sig, at forholdet mellem mennesket og mange bakterier snarere er gensidigt fordelagtigt. Nogle forskere går skridtet længere og foreslår, at mennesket og dets population af bakterier i virkelig-

heden kan betragtes som én stor organisme, eller at mikroorganismerne som helhed udgør et organ. Det skyldes, at man i de senere år har opdaget, at bakterier, som lever på og i mennesker, spiller en stor rolle for vores udvikling og sundhed. Desuden begynder vi at få indsigt i, at disse mikroorganismer muligvis kan påvirke systemer, vi troede, vi alene var herre over.

Mavens mikrobiom

Den præcise sammensætning af mikroorganismer har betydning for mange forskellige processer i kroppen. Bakteriepopulationen i et enkelt individ kalder vi for denne persons mikrobiom. Den betegnelse dækker over bakterier både på huden og inde i kroppen, men størst opmærksomhed har der været

omkring de mange bakterier, som lever i vores fordøjelsessystem. Det er nemlig her, langt de fleste cellulære interaktioner mellem bakterier og menneske finder sted. I denne artikel vil "mikrobiomet" også udelukkende referere til mave-tarm-systemet.

De mange bakterier, som lever i fordøjelsessystemet, er med til at fordøje den mad, vi spiser, producere vigtige vitaminer samt beskytte os mod sygdomsfremkaldende bakterier eller vira, som finder vej ind i kroppen. Forskere har længe ment, at mikrobiomet etableres ved fødslen, fordi barnet modtager bakterier, når det passerer gennem fødselskanalen og ved fysisk kontakt med moderen. Nyere studier tyder dog på, at en del af koloniseringen sker

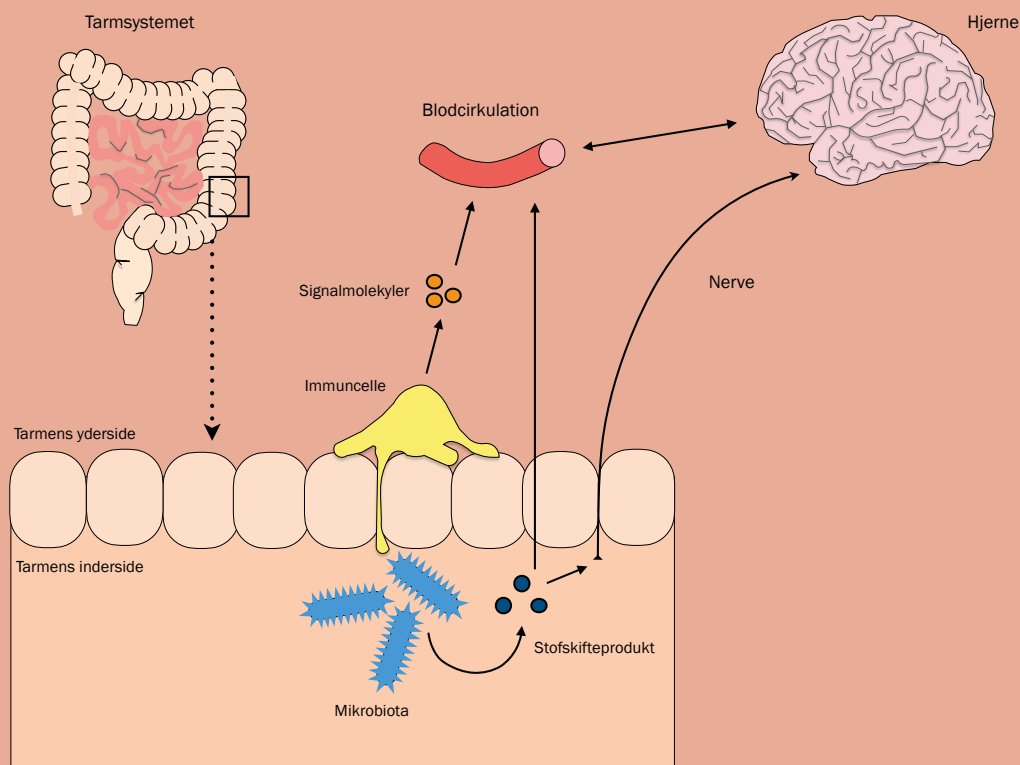


Om forfatteren

Kathrine Nielsen er ph.d. i muskelfysiologi fra University of Otago i New Zealand, hvor hun har undersøgt effekten af motion på muskelaldring.
kath.bjerregaard@gmail.com

Kommunikation mellem bakterier og hjerne

Den største densitet af mikroorganismer findes i tyktarmen, hvor tarmvæggen adskiller mikrobiomet fra direkte interaktion med resten af kroppens organer. Bakteriernes nedbrydning af den føde, vi indtager, resulterer i produktionen af en række biprodukter. Disse biprodukter kan fungere som signalstoffer enten ved aktivering af nervesystemet, som har forbindelse til hjernen, eller ved at blive optaget i blodbanen og transporteret til hjernen. Bakteriernes biprodukter påvirker også celler i tarmvæggen, som producerer hormoner som serotonin og kan herved indirekte påvirke signalering til hjernen. Også immuncellerne udenfor tarmen indgår i signaleringen ved at registrere ændringer inde i tarmen og udløse signalmolekyler, som optages i blodbanen.



Er mikrobiomet et organ?

Et organ er en strukturel enhed, sammensat af celler og væv, der er specialiseret til at varetage bestemte funktioner i en flercellet organisme.

Typisk forbinder vi betegnelsen "organ" med strukturer, som består af celler med genetisk materiale fra organismen selv. Men hvis man holder sig til den egentlige definition, så kan mikrobiomet sagtens

opfattes som et organ på linje med hjerne, muskler og lever.

Komplekse organismers evolution har været tæt forbundet med deres mikrobiom, og derfor kan det faktisk være svært at sige præcist, hvor vi ender, og mikrobiomet begynder.

Både mikrobiomet og hjernen udgør en samling af celler, som kommuni-

kerer internt og med andre organer.

Mikrobiomet varetager ligesom leveren vigtig omsætning af komplekse kemiske forbindelser til tilgængelige energikilder.

Mikrobiomet er tilsyneladende nødvendigt for den korrekte udvikling af andre organer som hjernens blod-hjerne barriere og tarmvæggen.



allerede inden fødslen via overførsel fra moderkagen og fostervandet. Amning er ligeledes en vigtig del af formningen af mikrobiomet, da både den fysiske kontakt og modermælken overfører vigtige bakterier til barnet. Meget tyder på, at børn, som bliver født vaginalt, hurtigere etablerer et sundt mikrobiom sammenlignet med børn født ved kejsersnit. Således er grundstenene i barnets unikke bakteriepopulation i høj grad arvet fra moderen. Mikrobiomet formes yderligere i livets første år, hvor barnet eksponeres for mange forskellige bakterier.

Forbindelse til hjernen

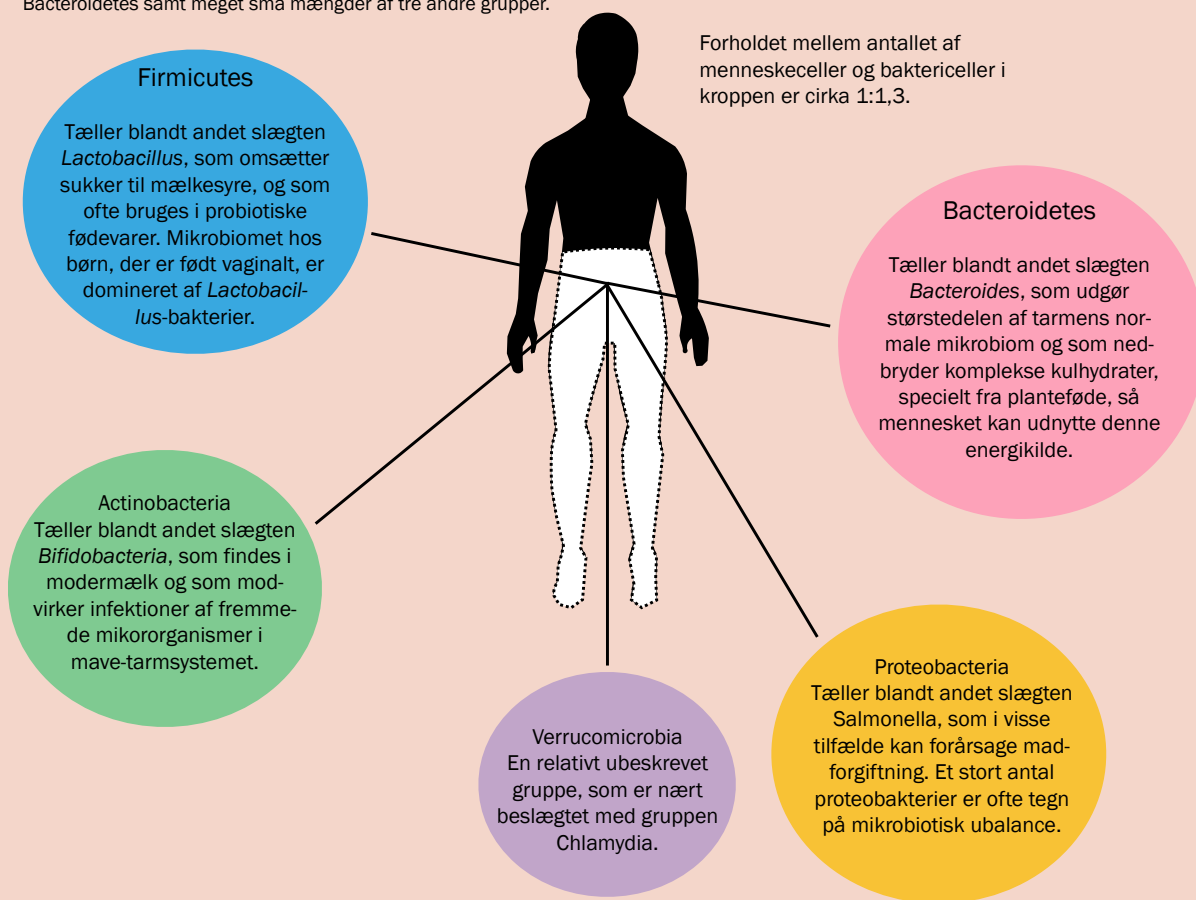
Bakterierne, som koloniserer tarmsystemet, kan ikke krydse den intakte tarmvæg og har derfor, under normale omstændigheder, ikke direkte kontakt med resten af kroppen. Det er vigtigt, da bakterierne ellers ville fremprovokere en betændelsestilstand i kroppen. Alligevel er der en række måder, hvorpå bakterierne og de affaldsstoffer, de udskiller under deres stofskifte, har forbindelse med kroppens organer. Vi har længe vidst, at hjernen og tarmen udveksler signaler, men opdagelsen af forbindelser mellem

mikrobiomet og hjernen har vakt stor opsigt. Måske er det fordi ideen, om at små encellede organismer skulle have indflydelse på vores komplekse hjerne, prikker til vores selvopfattelse som værende en dominerende art. Hvis bakterierne spiller en rolle i, hvordan vores hjerne fungerer, hvem er så egentlig ved roret?

Bakterierne kommunikerer med hjernen via kemiske og elektriske signaler. Den elektriske kommunikation foregår via nervesystemet, som forbinder tarmsystemet

Mikrobiom

Der findes ikke to mennesker, der har præcis det samme mikrobiom, men den overordnede fordeling af bakterier går igen hos raske mennesker. Mikrobiomet indeholder hovedsageligt bakterier fra to overordnede grupper (phyla eller rækker), Firmicutes og Bacteroidetes samt meget små mængder af tre andre grupper.



og hjernen. Nervesystemet kan påvirkes direkte eller indirekte via affaldsstoffer fra bakteriernes stofskifte. Disse stofskifteprodukter kan også nå hjernen via blodcirkulationen, når de krydser tarmvæggen. Særligt er kortkædede fedtsyrer, som mange bakterier producerer, involveret i kommunikation med hjernen. Desuden kan kortkædede fedtsyrer også påvirke produktionen af hormoner i tarmen og derved indirekte påvirke de steder i hjernen, hvor hormonerne har deres effekt. Endelig er immunsystemet også aktivt i kommunikationen mellem hjernen og mikrobiomet. Immunceller er til stede på ydersiden af tarmvæggen og kan sende udløbere ind i tarmen og registrere ændringer i tarmmiljøet, for eksempel ubalance i bakteriepopulationen. Hvis der er ubalance, udløser immuncellerne signaler, som via blodcirkulationen

når hjernen. Under normale omstændigheder vil den konstante kommunikation mellem bakterier og hjerne ikke have negativ indflydelse på menneskets sundhed og udvikling, hvorfor vi i stor udstrækning lever i uvidenhed om vores bakterieflora. Dog er der situationer, hvor bakteriemiljøet kommer i ubalance, hvilket kan resultere i en unormal tilstand, som pludseligt gør os opmærksomme på de mange organismer, som lever i vores krop.

Mikrobiotisk ubalance

Bakterierne, som udgør mikrobiomet, konkurrerer konstant om en plads i tarmens økosystem. Efter de første år af et menneskes liv er der etableret en balance mellem de mange bakteriearter, og herefter sker der ikke de store udsving i den relative mængde af forskellige arter. Balancen i mikrobiomets

sammensætning er forskellig fra person til person, så der er altså ikke én bestemt sammensætning, som skaber "den rigtige" balance for alle. Den individuelle balance kan dog påvirkes af en række faktorer igennem livet og bringe mikrobiomet i ubalance. Kosten har stor betydning for, hvilke bakterietyper der dominerer tarmsystemet, og store ændringer i kosten, kan således ændre på bakteriekompositionen. Det skyldes, at en speciel kost kan favorisere en eller flere bakterietyper, som derfor breder sig. Ligeledes kan en maveinfektion, altså midlertidig tilstedeværelse af fremmede mikroorganismer, påvirke mikrobiomet og bringe det ud af balance ved at udkonkurrere en eller flere af de normale bakterietyper. Ironisk nok kan behandling af sådanne infektioner med antibiotika også have negativ

Hvordan studeres mikrobiomet?

Dyreforsøg

Fordele:

I dyreforsøg kan man undersøge effekten af et fraværende mikrobiom, og man kan introducere enkelte bakteriearter ad gangen. Desuden kan man måle ændringer direkte i det påvirkede væv.

Ulemper:

Mange dyreforsøg bruger adfærdstests som målestok for effekt af mikrobiomet på hjernen, hvilket kan være svært at tolke i forhold til mennesker.

Interventioner

Probiotika
Præbiotika
Kost
Afførings-
transplantation
Antibiotika

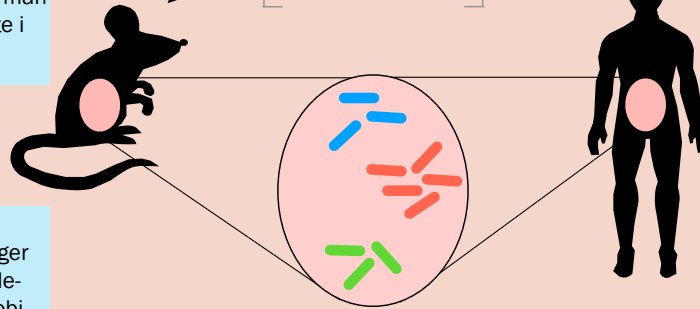
Menneskeforsøg

Fordele:

Resultater for raske mennesker og patienter med forskellige sygdomme kan tolkes direkte og derfor give information om potentialet for behandling.

Ulemper:

Mange resultater er baseret på korrelationer, fordi vi ikke har mulighed for at måle direkte på det påvirkede væv.



RNA-analyse

Information om hvilke bakterietyper, der er til stede og i hvilke relative mængder.

DNA-analyse

Information om hvilke bakterietyper, der er til stede og hvilke gener, de potentielt kan udtrykke.

Protein-analyse

Information om hvilke og hvor stor en mængde proteiner, de tilstedeværende bakterier producerer.

Metabolit-analyse

Information om hvilke og hvor store mængder stofskifteprodukter, de tilstedeværende bakterier producerer.

indflydelse på den eksisterende bakterieflora, fordi én slags antibiotika nedkæmper én type eller gruppe af bakterier, og derved skabes der plads til en anden.

Meget forskning tyder på, at også menneskets alder har betydning for mikrobiomet, da man har påvist, at ældre menneskers mikrobiom er ustabil og mindre forskelligartet end hos yngre mennesker. Det gør ældre mere sårbare overfor infektioner.

Ubalance i mikrobiomet leder til en række forandringer, der kan påvirke vores organisme. Mængden af specifikke stofskifteprodukter fra bakterierne kan således stige eller falde, immunsystemets respons forandrer sig og der kan ske ændringer i signalering via nervesystemet. Nogle forskningsresultater peger

på, at disse ændringer kan forstyrre hjernens normale processer og lede til forskellige psykologiske såvel som neurologiske problemer.

Bakterier på godt og ondt

Effekterne af ubalance på hjernens funktioner er potentielt vidtrækkende, men også komplicerede at undersøge, fordi mikrobiomet er dynamisk og under konstant påvirkning fra kroppens andre systemer. Derfor forsøger man at adskille de forskellige effekter.

Mikrobiomet som helhed og dets rolle i hjernens udvikling undersøges i sterile dyr, som intet mikrobiom har. Sådanne mikrobiom-løse mus har en underudviklet blod-hjerne barriere, en anderledes hjernestruktur og udviser i den forbindelse en anderledes adfærd i form af forhøjet respons på stres-

sende stimuli sammenlignet med mus med en normal bakteriepopulation. Hvis de sterile mus meget tidligt i livet bliver eksponeret for mikrobiomet fra normale mus, udliges disse forskelle helt. Det har derimod ingen effekt, hvis musene først senere i livet udsættes for et sådant mikrobiom. Altså synes der at være en specifik tidsramme for, hvornår hjernens udvikling kan påvirkes af mikrobiomet.

Disse fund har skabt interesse for potentielle sammenhænge mellem mikrobiotisk ubalance og syndromer, der skyldes underudvikling af forskellige funktioner i hjernen – eksempelvis autisme. Aldersbetingede neurologiske syndromer som demens og Parkinson er også blevet forbundet med mikrobiomet, idet man har observeret, at bakteriefloraen bliver mindre varieret



Problemer ved kortlægning af mikrobiomet

Det er ikke uproblematisk at få adgang til en repræsentativ prøve af et menneskes mikrobiom. Bakterierne er mest talrige i tyktarmen, og at indsamle bakterieprøver direkte fra tarmen kræver derfor en invasiv procedure. Invasive metoder er ikke realistiske at benytte på alle de mange test-personer, som et meningsfuldt studie ofte kræver. Af denne grund bruger de fleste studier afføringsprøver.

Studier, som har brugt invasive metoder til at tage prøver af mikrobiomet, har dog vist, at bakteriefloraen ikke er ens hele vejen igennem tyktarmen. Derfor er afføringsprøver til kortlægning af mikrobiomet som helhed muligvis ikke repræsentative, fordi afføringsens flora primært vil ligne floraen i den nederste del af tyktarmen.

i takt med dårligere neurologisk funktion med alderen.

Efter fundet af den overaktive stressrespons i sterile mus var det oplagt, at mikrobiomet kunne spille en rolle i psykologiske syndromer som stress og depression. Det har forskere undersøgt ved først at kortlægge mikrobiomet hos depressive patienter og afgøre, om disse har en anderledes fordeling af bakterier end raske mennesker. Sådanne undersøgelser viser, at depressive patienter typisk har færre bakterier af typen bifidobakterier og lactobacillus. Ved kunstigt at øge mængden af disse bakterietyper og måle responsen i for eksempel mængden af relaterede signalstoffer i hjernen, kan man undersøge, om der virkelig findes en sammenhæng. På den måde har man i mus opdaget, at tilskud med lactobacillus-bakterier, som ofte findes i yoghurt, kan medvirke til at reducere angst og depressionssymptomer ved at signalere til hjernen via nervesystemet. Andre bakterietyper, for eksempel bifidobakterier, øger mængden af hormonet serotonin i blodet og reducerer effekten af stress ved at mindske aktiveringen af immunsystemet, som påvirker hjernen via blodbanen.

Megen af den eksisterende forskning omkring mikrobiomet og neurologiske eller psykologiske lidelser bygger dog på korrelationer, og yderligere efterforskning skal til, før vi endegyldigt kan pege på mi-

krobiomet som en udslagsgivende faktor. Foruden at forstå effekten af en enkelt bakterietype er det også vigtigt at forstå sammenspillet mellem forskellige bakterietyper, og hvilken indflydelse disse interaktioner har på neurologiske symptomer, da bakterierne i mikrobiomet jo ikke forekommer i isolation.

Mikrobiotisk manipulation

Et væsentligt perspektiv i at forstå mikrobiomets indflydelse på vores sundhed, er, at denne viden potentielt kan udnyttes til at behandle sygdomme ved at manipulere bakteriebalancen. Det kan man gøre ved at indtage præ- eller probiotiske madvarer eller præparater. Præbiotika er ofte komplekse kulhydrater, som er særligt gavnlige for en eller flere bakteriearter, og derfor kan man tilgode se netop disse bakterier ved indtagelse. Probiotika er levende bakterier og har således den effekt, at man direkte øger mængden af en bakterietype ved eksempelvis at spise probiotisk yoghurt. Mængden af specifikke bakterietyper kan også mindskes ved behandling med antibiotika. En anden mere radikal måde at manipulere mikrobiomet på er ved at transplantere små doser af menneskelig afføring fra en sund donor. Formålet er her at genskabe en afbalanceret bakteriepopulation, eftersom afføring indeholder store mængder af gavnlige bakterier. Denne type behandling har hidtil hovedsageligt været brugt mod infektioner med *Clostridium difficile*, som giver en svær form for

diarré og tarmbetændelse. Men den kunne måske også være effektiv overfor infektioner, som manifesterer sig andre steder i kroppen.

Ungt felt, begrænset forståelse

På trods af en kæmpe stigning de seneste 15 år i antallet af videnskabelige artikler, som behandler mikrobiomet, er der stadig meget lang vej, før vi forstår, og på ansvarlig vis kan bruge, manipulation af mikrobiomet som behandlingsform. At gribe ind i mikrobiomet, som ved afføringsstransplantation, kan forskubbe balancen i uforudsete retninger og herved fremprovokere reaktioner i dele af kroppen, som slet ikke var målet. Om effekten så er positiv eller negativ vil sandsynligvis være afhængig af både donor og modtagers bakteriesammensætning samt deres sygdomshistorie. Desuden kan det i mange tilfælde være svært at afgøre, om en atypisk bakteriepopulation i forbindelse med sygdom er et resultat af sygdommen eller en medvirkende årsag til sygdommen eller måske begge dele. Det gør det svært at forudse effekten af eventuel mikrobiotisk manipulation.

Meget af den grundlæggende viden stammer fra dyreforsøg, og man kan derfor ikke med sikkerhed sige, om resultaterne kan overføres til mennesker. Indtil videre er kortlægningen af det menneskelige mikrobiom meget afhængig af afføringsprøver. Hvordan prøverne opbevares og mængden af information, der udvindes, har stor indflydelse på, hvor komplet et billede, man får af tarmens økosystem.

Foruden bakterier indeholder tarmsystemet en række svampe og vira, som også indgår i kommunikationen med immunsystemet og kroppens andre organer. Indtil videre forstår vi kun ganske lidt om vekselvirkningerne mellem de mange forskellige mikroorganismer, samt hvor afgørende specifikke arter er for menneskets sundhed. Men ideen om at kunne angribe neurologiske problemer fra en helt ny vinkel gør det spændende at følge udviklingen indenfor dette felt. ■

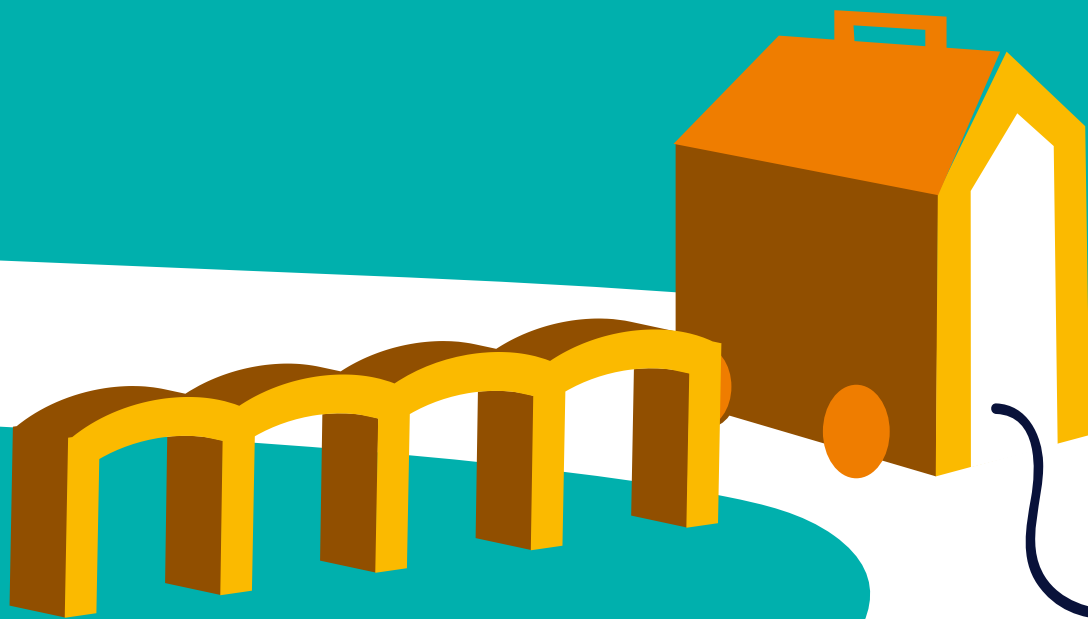
Yderligere læsning:
Mayer EA (2011). Gut feelings: the emerging biology of gut-brain communication. *Nature Reviews in Neuroscience*. 12. doi:10.1038/nrn3071

Mayer E. et al (2014). Gut microbes and the brain: Paradigm shift in neuroscience. *Journal of Neuroscience*. 34. 15490-15496.

NIH - Human Microbiome Project

DET RULLENDE UNIVERSITET

FÅ EN LÆRINGSRIG UNDERVISNINGSDAG PÅ JERES GYMNASIUM -
BRAGT TIL DØREN FRA **AARHUS UNIVERSITET**



Med Det rullende Universitet kan I

- ✓ få undervisning af høj faglighed med studerende
- ✓ imødekomme reformkravet om karrierelæring
- ✓ give eleverne et indblik i studielivet på universitetet

Vi ruller også gerne ud til jeres gymnasium!

Besøg DRU.AU.DK
eller skriv til os på DETRULLENDEUNIVERSITET@AU.DK



AARHUS
UNIVERSITET

GULERØDDER

FOREBYGGER

OG HÆMMER

UDVIKLINGEN AF

TARMKRÆFT

Forfatterne



Morten Kobaek-Larsen er cand. scient, ph.d., postdoc ved Kirurgisk Forskningsenhed, Afdeling for Kirurgi, Odense Universitetshospital. Morten.Kobaek.larsen@rsyd.dk



Lars Porskjær Christensen er professor og prodekan, ph.d., Institut for Kemi og Biovidenskab, Det Ingeniør- og Naturvidenskabelige Fakultet, Aalborg Universitet. lpc@adm.aau.dk



Gunnar Baatrup er professor, overlæge Dr. Med, Kirurgisk Forskningsenhed, Afdeling for Kirurgi, Odense Universitetshospital Gunnar.Baatrup@rsyd.dk

Det er velkendt, at mennesker som spiser mange grøntsager, eksempelvis gulerødder, har en nedsat risiko for at få kræft.

Det er nu endeligt bevist, at gulerodens indhold af stofferne falcarinol og falcariindiol kan forebygge og hæmme udviklingen af forstadier til kræft i tyk- og endetarm i en dyremodel.

Gulerødder er en af de mest udbredte grøntsager og indgår i den daglige kost i det meste af verden. Farvede gulerødder, især de orange og gule, har et højt indhold af karotenoider, som er en stor gruppe af organiske nærings- og farvestoffer. Karotenoider er kendt for deres effekt som antioxidant og som såkaldt provitamin A, det vil sige forstadie til vitamin A. β -karoten er den største kilde til vitamin A (retinol) i kroppen, og guleroden er en af de vigtigste kilder til provitamin A.

Befolkningsundersøgelser har vist, at jo mere α - og β -karoten, man har i blodet, jo mindre er risikoen for udvikling af kræft. Netop indholdet af α - og β -karoten er korre-

leret til et forholdsvis højt indtag af gulerødder, og i en årrække mente man derfor, at det er gulerodens høje indhold af karotenoider og dens antioxidante effekt, der er årsagen til gulerodens sundhedsfremmende virkning. En række undersøgelser i midten af 1990'erne viste imidlertid, at β -karoten øger risikoen for kræft, hvis det indtages i store mængder i form af tabletter. Siden har årsagen til den kræfthæmmende virkning af guleroden været ukendt.

Polyacetylenier som kræfthæmmere

Den oprindelige gulerod er hvid og har været anvendt til medicinske formål. Den er botanisk nært beslægtet med ginseng, som er en af de mest kendte medicinplanter.

Fælles for guleroden og ginseng er, at de begge indeholder polyacetylenier, herunder falcarinol, der er den mest bioaktive af denne type polyacetylenier.

Adskillige videnskabelige undersøgelser har vist, at polyacetylenier i ginsengroden kan hæmme væksten af forskellige typer kræftceller i forsøg i petriskåle, og derfor anser man denne gruppe af naturstoffer for at være en væsentlig del af forklaringen på ginsengrodens kræfthæmmende egenskaber, selvom det endelige bevis stadig mangler.

I de senere år har man derfor arbejdet ud fra den hypotese, at polyacetylenierne også er en af de væsentligste forklaringer på de

Synergisme og kræft

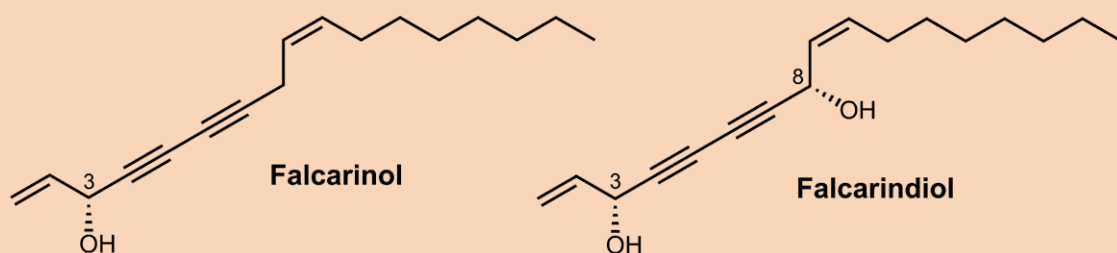
En del naturstoffers sundhedsfremmende effekter skyldes synergisme – det vil sige, at de forstærker hinanden, således at den kombinerede effekt af stofferne bliver større end summen af de enkelte stoffers bidrag. Dette er sandsynligvis også tilfældet for den kræfthæmmende effekt af falcarinol og falcarindiol, hvilket har haft afgørende betydning for planlægningen af rotteforsøgene beskrevet i denne artikel og dermed påvisningen af disse polyacetyleners kræfthæmmende effekt.

I tabellen er resultaterne af den relative effekt af falcarinol og

Falcarinol (µg/ml)→	0	1	5	10
Falcarindiol (µg/ml)				
0	1,0	1,01 ± 0,25	0,36 ± 0,25	0,18 ± 0,01
1	1,35 ± 0,36	0,71 ± 0,08	0,58 ± 0,04	0,22 ± 0,08
5	1,03 ± 0,32	0,53 ± 0,06	–	–
10	0,52 ± 0,17	0,17 ± 0,03	–	–

falcarindiol på celledelingen af tarmkræftceller (såkaldte Caco-2 celler) i forholdet 1:1, 1:5, 1:10, 5:1 og 10:1 angivet. Som det fremgår af tabellen, påvirkes celledelingen ikke ved kun at tilsætte 1 µg/ml falcarinol til cellerne og ej heller, hvis man kun tilsætter 5 µg/ml falcarindiol til cellerne. Hvis man

derimod tilsætter 1 µg/ml falcarinol og 5 µg/ml falcarindiol samtidig til kræftcellerne, bliver celledelingen reduceret signifikant med cirka 50 %. Som det ses i tabellen udviser falcarinol og falcarindiol en signifikant synergistisk effekt ($P < 0,01$) i forholdet 1:1, 1:5 og 1:10, og er markeret med rødt i tabellen.



Kemisk struktur af falcarinol og falcarindiol. Det fremgår, at forskellen er en ekstra OH-gruppe på falcarindiol ved kulstof nr. 8. De to molekyler er de mest bioaktive af den gruppe stoffer, der kaldes alifatiske C₁₇-polyacetylene, der forekommer i vegetabilier og krydderurter tilhørende skærmpantefamilien, herunder gulerødder.

kræfthæmmende egenskaber af gulerødder. Udover falcarinol er den mest fremtrædende polyacetylen i gulerødder falcarindiol.

Falcarinol og falcarindiol er forsvarsstoffer, der beskytter guleroden mod angreb fra svampe. Falcarindiol, der primært findes i skrællen af guleroden, beskytter guleroden mod angreb fra flere typer af svampe, herunder især lakridsråd, der angriber guleroden under lagring. Falcarinol findes primært inde i guleroden og beskytter den mod angreb fra andre typer svampe, herunder især gråskimmel, der ligeledes angriber guleroden under lagring. De to stoffer adskiller sig kemisk set kun ved en enkelt hydroxylgruppe (OH-gruppe). På trods af

den kemiske lighed er der forskel på deres biologiske aktivitet overfor svampe, men også i relation til deres farmakologiske effekter og til dels også på deres virkningsmekanisme.

Slår kræftceller ihjel

Den potentielt kræfthæmmende effekt af falcarinol og falcarindiol bunder i, at de er cytotoxiske – det vil sige, at de er giftige overfor celler og i stand til at slå dem ihjel. Forsøg med forskellige kræftcellelinjer i laboratoriet har vist, at falcarinol er mere giftigt overfor kræftceller end falcarindiol. Til sammenligning har forsøg med karotenoider vist, at disse ikke har nogen effekt på kræftceller i petriskåle, selv i meget høje koncentrationer. Det bekræfter,

at karotenoider ikke kan forklare gulerodens kræftforebyggende egenskaber.

Ny forskning viser, at falcarinol og falcarindiol forstærker hinandens cytotoxiske aktivitet. Denne forstærkende effekt er blevet påvist både i gulerodsekstrakter indeholdende forskellige mængder falcarinol og falcarindiol og ved anvendelse af de rene stoffer overfor forskellige kræftcellelinjer.

Rotteforsøg bekræfter kræfthæmmende virkning

At et stof kan slå kræftceller ihjel i en petriskål betyder ikke nødvendigvis, at det også virker sådan i en levende organisme. Derfor har vi for nylig undersøgt den kræfthæmmende effekt af

Rotteforsøgene

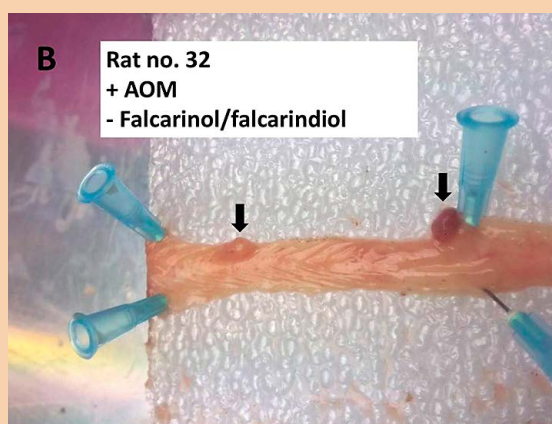
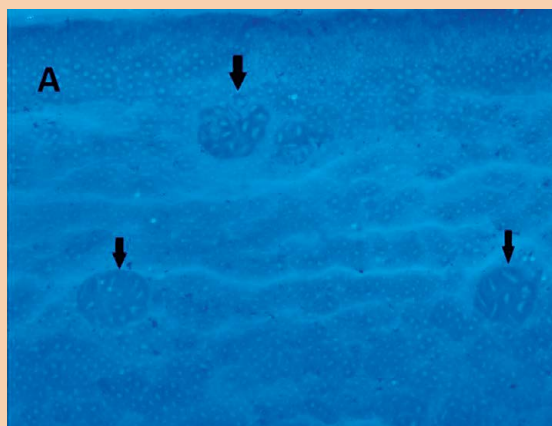
I vores undersøgelse af den kræfthæmmende effekt af falcarinol og falcarindiol på rotter, blev rotterne opdelt i 2 grupper med 20 rotter i hver. Den ene gruppe (kontrolgruppen) blev fodret med standardrottefoder Altromin, mens den anden gruppe blev fodret med Altromin, der var tilsat 7 µg falcarinol og 7 µg falcarindiol per gram foder. Efter 14 dages fodring med speciel diæt, injiceres rotterne med det kræftfremkaldende stof AOM i en mængde på 15 mg/kg rotte, en gang hver uge i 4 uger. Rotterne fortsatte på speciel diæt til 18 uger efter første AOM-injektion. Herefter blev de aflivet og deres tarme blev undersøgt for mikroskopiske forstadier til kræft samt større makroskopiske synlige og mindre tumorer.

Forstadier til kræft kan ses som en mikroskopisk fortykkelse af krypterne i tarmen (se billede A). Disse kaldes på fagsproget ACF (Aberrant Crypt Foci). En klynge på flere end syv sammenhængende krypter, der er fortykkede, kaldes en stor ACF – mens en lille ACF har færre end syv fortykkede krypter.

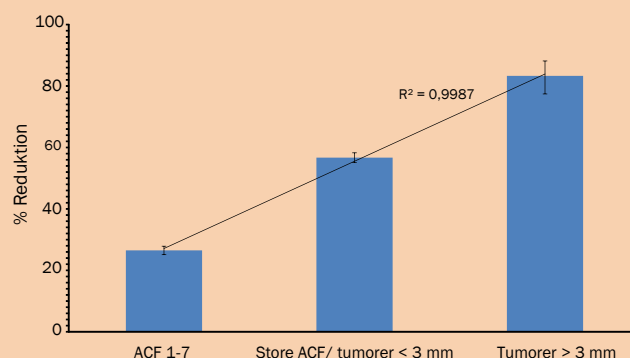
Billede B viser makroskopiske polypper på tarmen fra en rotte i kontrolgruppen, mens billede C viser makroskopiske polypper fundet i en rotte fra den gruppe, der var på en diæt med falcarinol og falcarindiol i foderet.

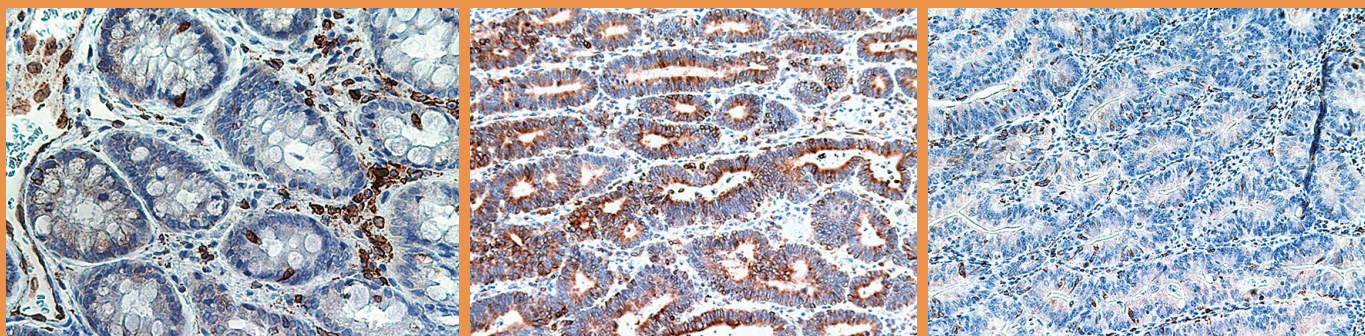
Vi optalte alle små og store ACF samt mindre og større tumorer i rotterne fra begge grupper. Resultaterne viser en signifikant reduktion af store tumorer med over 83 % og en signifikant reduktion af store ACF-klynger og mindre tumorer med cirka 57 % hos rotter, der havde fået en diæt med falcarinol og falcarindiol sammenlignet med kontrolgruppen (se tabel).

Denne reduktion i størrelsen af ACF og tumorer er endvidere lineær korreleret, som det fremgår af figuren nederst. Den lineære korrelation viser, at reduktionen i de forskellige tumor-grupper ikke er tilfældig og underbygger, at falcarinol og falcarindiol forebygger dannelsen af og hæmmer udviklingen af forstadier til tarmkræft, og at de er i stand til at hæmme væksten af dannede tumorer.



	Små ACF	Store ACF	Mindre tumorer 1-3 mm	Større tumorer > 3 mm
Rotter, der modtog kontroldiæt (n = 20)	4094 Median = 218	126	15	6
Rotter, der modtog diæt indeholdende falcarninol og falcarnindiol (7 µg/g) (n = 20)	3007 Median = 145	50	11	1
Procent reduktion	26,6 (P < 0,001)	56,7 (P = 0,027)	83,3 (P = 0,032)	





Normalt tarmvæv fra rotte. Celler med COX-2-enzymet ses med rødbrun farve, mens cellerne uden COX-2-enzymet er gennemsigtige eller hvide. Cellekernerne er farvet blå.

I tumurvævet fra rotter, som har fået almindeligt rottefoder (kontrolgruppen) er COX-2-enzymet opreguleret.

Her er COX-2-enzymet tydeligvis hæmmet. Der er tale om tumurvæv fra rotter, som har fået blandet falcarinol og falcarindiol i foderet.

Kræft og COX-enzymet

Som beskrevet i artiklen er en sandsynlig mekanisme for den kræfthæmmende effekt af gulerødder, at falcarinol og falcarindiol hæmmer de såkaldte cyclooxygenaser eller COX-enzymet. Der findes to typer af disse COX-enzymet. Den ene type, kaldet COX-1, er et enzym, som fremmer beklædningen af mavesæk og tarm med beskyttende slim samt hæmmer produktionen af syre og fordøjelsesenzymet pepsin i mavesækken. Den anden type, COX-2, er et enzym, som fremmer inflammation og cellernes deling, dannelsen af nye blodkar samt hæmmer cellernes programmerede død. Inflammation og kræft deler mange fællesmekanismer. For eksempel vil nogle af de hormoner, som produceres ved inflammation, også fremmer kræftcellers deling. En af de centrale biomarkører for inflammation og kræft er netop COX-2. Dette er også baggrunden for, at COX-hæmmere som aspirin kan forebygge udviklingen af kræft i tarmen. Aspirin hæmmer dog ikke kun COX-2, men også COX-1, og

derfor kan en række bivirkninger som mavesår og blødninger fra tarmen optræde ved denne behandling. Ydermere har man konstateret, at syntetisk fremstillede COX-2 hæmmere kan give bivirkninger i hjerte-kar-systemet. Falcarinol og falcarindiol ser ud til primært at hæmme COX-2. Man har dog endnu ikke set tilfælde af bivirkninger hos mennesker, der spiser mange grøntsager som gulerødder, som skyldes hæmning af COX-enzymet. Det giver håb om, at de kan blive interessante som kræftforebyggende stoffer med meget få eller ingen bivirkninger.

I vores rotteforsøg har vi analyseret tumurvæv fra både testgruppen og kontrolgruppen for tilstedeværelsen af COX-2 i vævet, og her ses en tydelig hæmning af COX-2 i tumurvæv fra rotter, som har fået falcarinol og falcarindiol (testgruppen) sammenlignet med tumurvæv fra kontrolgruppen, som kun fik normalt rottefoder (se billederne).

falcarinol og falcarindiol isoleret fra gulerødder i en velkendt dyremodel. I forsøget indgik 40 rotter, opdelt i 2 lige store grupper med 20 rotter i hver, som fik induceret tarmkræft med det kræftfremkaldende stof azoxymethan (AOM). Den ene gruppe blev fodret med en standardrottediæt (kontrolgruppe) og den anden en standardrottediæt tilsat falcarinol og falcarindiol. Koncentrationen af falcarinol og falcarindiol i diæten svarede til et menneskes daglig indtag af cirka 300–400 g gulerødder, når man tager højde for rotternes lavere vægt og hurtigere stofskifte.

Resultaterne er meget lovende og viser en signifikant reduktion af

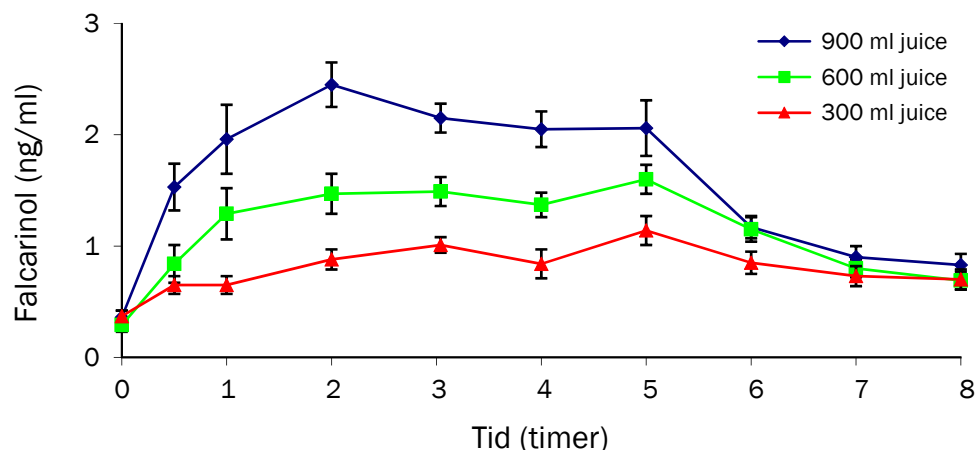
både store og små tumorer. Resultaterne viser ikke kun en forebyggende effekt mod tarmkræft, men også en klar tendens til, at væksthastigheden af tumorer blev hæmmet. Sideløbende kunne vi vise, at rotter på de forskellige diæter, som ikke blev udsat for det kræftfremkaldende stof AOM, ikke udviklede kræft eller tegn på kræft.

Ovenstående resultater bekræfter resultater fra pilotforsøg udført i 2005, og de viser kort sagt, at gulerødder har en forebyggende effekt på forstadier til tarmkræft, og at effekten af gulerøddernes virkning på kræft primært skyldes falcarinol og falcarindiol.

Virkemåden af falcarinol og falcarindiol

Men hvordan virker falcarinol og falcarindiol så helt konkret i kroppen? Det er et spørgsmål, der endnu ikke er klarlagt. Der er dog visse videnskabelige undersøgelser, der peger i retning af, at deres virkningsmekanisme ikke er identisk på trods af, at disse bioaktive polyacetyler er forholdsvis ens i deres kemiske struktur.

Falcarinol og beslægtede polyacetyler er i stand til at reagere med proteiner og andre biomolekyler. Falcarinol kan reagere med hudens proteiner og forårsage kontaktallergi og antages derfor at have en immunstimulerende effekt. Falcarindiol derimod er ikke



Figuren viser mængden af falcarinol i blodet efter et morgenmåltid med 300, 600 eller 900 ml gulerodssauce indeholdende henholdsvis 4, 8 og 12 mg falcarinol. Falcarindiol viser et tilsvarende billede. Antallet af forsøgspersoner i dette studie var 14, og det var alle unge mænd. Studiet viser, at falcarinol og falcarindiol optages i kroppen, når man indtager fødevarer, der indeholder disse stoffer.

Videre læsning:
Videnskabelig artikel
Kobæk-Larsen, M. et
al. 2017: *Food Funct.*,
2017, 8, 964-974.

Christensen, L.P.,
Kobæk-Larsen, M. og
Ritskes-Hoitinga, M.
2005: På sporet af
gulerodens kræfthæm-
mende virkning. *Dansk
Kemi*, 86, nr. 6/7,
20-25.

umiddelbart et kontaktallergen, hvilket indikerer at dets virkningsmekanisme er forskellig fra falcarinols.

Falcarindiol binder sig for eksempel kraftigere end falcarinol til et protein kaldet PPAR- γ , der er en såkaldt nuklear receptor (en klasse af proteiner, der er i stand til direkte at vekselvirke med og kontrollere udtrykket af DNA i genomet). Denne receptor er blandt andet involveret i cellernes programmerede død (apoptose), og det kunne derfor være en af de virkningsmekanismer, hvor falcarindiol adskiller sig fra falcarinol. Endvidere er der noget, som tyder på, at falcarindiol er bedre til at hæmme aktiviteten af såkaldte COX-enzym (cyclooxygenaser) end falcarinol. Det er en virkningsmekanisme, der er nærliggende at overveje i forhold til inflammation og kræft i tarmen. Således fremmer enzymet COX-2 inflammation, cellernes deling og dannelsen af nye blodkar ud over at hæmme cellernes programmerede død.

Dette er også i overensstemmelse med vores forsøg, der viste en tydelig hæmning af COX-2 i tumor-

væv fra rotter, som fik falcarinol og falcarindiol sammenlignet med tumorvæv fra kontrolgruppen, som kun fik normalt rotteføde.

Tidligere studier har vist, at andre COX-hæmmere som for eksempel aspirin kan forebygge udviklingen af kræft i tarmen, hvilket underbygger, at det kan være en central virkningsmekanisme for den kræfthæmmende effekt af falcarinol og falcarindiol i gulerødder.

Falcarinol og falcarindiol optages i kroppen

En forudsætning for, at et bioaktivt stof har en effekt på celler og dermed en potentiel sundhedsfremmende effekt, er, at det optages i cellerne og dermed er i stand til at trænge igennem celledmembranen og ind i cellerne. Celledmembranen består af lipider (fedt) og tillader derfor ikke alle stoffer at trænge igennem celledmembranen. Når det drejer sig om indtagelse af fødevarer, bestemmer man typisk evnen af et givet bioaktivt stof til at trænge igennem celledmembraner ved at måle koncentrationen af stoffet i blodet.

Man har i et tidligere forsøg med 14 mandlige testpersoner, der indtog gulerodssauce indeholdende

falcarinol og falcarindiol, vist, at disse bioaktive stoffer efterfølgende kan måles i blodet. Det betyder, at falcarinol og falcarindiol er i stand til at trænge over celledmembraner og igennem slimhinden i fordøjelsessystemet for at ende i blodbanen. Og det underbygger resultaterne fra rotteforsøgene og den sundhedsfremmende effekt af fødevarer indeholdende disse bioaktive stoffer.

At falcarinol og falcarindiol optages i kroppen er dog ikke overraskende, idet deres fedtelskende (lipofile) struktur gør, at de kan trænge igennem celledmembraner ved passiv diffusion.

Polyacetylen i andre grøntsager og krydderurter

Falcarinol og beslægtede polyacetylen findes udover i gulerødder også i andre velkendte grøntsager og krydderurter fra skærmplante-familien (Apiaceae) som persillerod, pastinak, selleri, dild og persille. Så hvis vores dyreforsøg kan bekræftes i humane, kliniske studier, vil falcarinol og falcarindiol ikke kun kunne forklare gulerødders sundhedsfremmende egenskaber, men også den sundhedsfremmende effekt af beslægtede grøntsager og krydderurter. ■

WHAT'S YOUR SCIENCE?



Hvis dit hjerte banker for natur- og biovidenskab,
har vi 21 bacheloruddannelser, som måske er noget for dig.

Fælles for dem er, at de spænder bredt inden for naturvidenskab,
er fagligt udfordrende og giver dig gode jobmuligheder bagefter.

Held og lykke med studievalget – og husk at der er ansøgningsfrist
til de videregående uddannelser den 5. juli.

science.ku.dk/ba

KØBENHAVNS UNIVERSITET
DET NATUR- OG BIOVIDENSKABELIGE FAKULTET





Kølecontainere med bananer klar til at blive fragtet til en fjern destination. Hvert år fragter verdens 1,5 millioner kølecontainere varer rundt til en samlet værdi af mere end 21 billioner kroner (21.000.000.000.000). Præcis hvor ofte kølecontainerne går i stykker, og hvor mange varer der hvert år går til spilde på den måde, oplyser shippingselskaberne ikke. Men en last med for eksempel bananer har en værdi af cirka 250.000 kroner.

Foto: Shutterstock

Kølecontainere forudser egne fejl

Containere fulde af rådne frugter eller fordærvet kød vil snart høre fortiden til. Forskere fra Aalborg Universitet (AAU) har sammen med elektronikvirksomheden Lodam udviklet et system, så kølecontainere kan forudsige fejl – inden de går i stykker.

Når letfordærlige varer skal transporteres rundt i verden, er det afgørende, at det sker i kølecontainere, der kan holde den samme lave temperatur på hele rejsen.

Et ødelagt kølesystem er ofte ensbetydende med adskillige ton rådden frugt, fordærvet kød, eller – endnu værre – et helt parti livsvigtig medicin, der ikke længere kan bruges. Derfor er alle moderne kølecontainere udstyret med et SIM-kort og et system, der kan slå alarm, hvis der opstår en fejl på anlægget.

Problemet er, at det ofte er umuligt at reparere en kølecontainer, der er undervejs på et skib, og derfor er en defekt container næsten altid ensbetydende med en øde-

lagt last. Det rådes der bod på med det nye system.

Container med krystalkugle

»I alle nyere containere sidder der i forvejen en masse overvågningsudstyr, som holder øje med de forskellige komponenter i køledele. Det er den data, vi bruger på en ny måde til at forudsige, hvornår der er høj risiko for, at der sker nedbrud,« fortæller ph.d. fra AAU, Rasmus Lundgaard Christensen.

Som en del af sin erhvervs-ph.d. har han analyseret data fra køleanlæg i containere, der er gået i stykker og på den måde fundet frem til en række indikatorer, der kan afsløre, om et kølesystem er ved at være slidt og trænger til nye dele.

»Det kan for eksempel være en kompressor, der begynder at komprimere væske i stedet for gas. Gør den det, er det kun et spørgsmål om tid, før den går i stykker. Når vi har den viden, kan vi reparere containeren næste gang den er i havn, inden den går i stykker,« forklarer han.

Dyr test kan undgås

I dag skal alle kølecontainere gennem en såkaldt PTI-test (PreTrip Inspection) mellem hver rejse, eller hvis de har været gennem en reparation. Det er en grundig test, der tjekker, at systemet fungerer, men processen er både tidskrævende og dyr. Hvert år bruger shippingbranchen over tre milliarder kroner på PTI-test.

Rasmus Lundgaard Christensen vurderer, at man med det nye system kan forudsige 95 % af alle nedbrud, før de sker. Det vil betyde store besparelser for shippingvirksomhederne, fordi PTI-testen i langt de fleste tilfælde blive overflødig.

»Hvis containeren selv kan forudsige, hvilke komponenter der skal skiftes og gøre opmærksom på det i god tid, er der ikke nogen grund til at bruge tid og penge på at teste hele systemet igen og igen,« siger Rasmus Lundgaard Christensen.

Nelly Sander, Aalborg Universitet



MAKE IT REAL

Sammen med sin projektgruppe udviklede Kristoffer en matematisk metode til at spore fejl på vindmøller ud fra målinger af vibrationer og belastninger.

KRISTOFFER SEGERSTRØM MØRK, LÆSER TIL KANDIDAT I MATEMATIK

Med afsæt i gruppearbejde og problembaserede projekter med autentiske udfordringer bliver du undervist lige der, hvor teori og praksis mødes og er med til at flytte, forundre og forandre. Både dig og verden. AAU bringer dig derfor tættere på den virkelige verden. Og på et attraktivt job.

FÅ MERE AT VIDE OM KRISTOFFERS UDDANNELSE PÅ [SCIENCE.AAU.DK](https://science.aau.dk)



AALBORG UNIVERSITET
AALBORG ESBJERG KØBENHAVN

ØKOSYSTEM- MODELLER

– processer, prognoser og usikkerheder

Statistiske økosystemmodeller hjælper os med forstå betydningen af økologiske processer og menneskeskabte påvirkningsfaktorer i naturområder. Derudover gør de os i stand til at lave troværdige prognoser for udviklingen af naturområderne.

Den danske natur undergår betydelige forandringer på grund af ydre menneskeskabte påvirkningsfaktorer. For eksempel medfører husdyrhold og afbrænding af fossilt brændstof, at betydelige mængder kvælstof tilføres naturarealer fra luften. Denne kvælstofdeposition vil favorisere hurtigt-voksende, høje urter, som kan udkonkurrere mere nøjsomme urter, som er tilpasset et miljø med mindre tilgængeligt kvælstof. Et ændret klima, invasive arter og ophør af græsning forventes ligeledes at favorisere nogle arter frem for andre.

Danmark er forpligtet af blandt andet EU's habitatdirektiv til at bevare naturen i en god tilstand, og det er derfor vigtigt at kunne bestemme den mest hensigtsmæssige pleje af konkrete naturområder. For at kunne gøre det er det nyttigt at kunne forudsige, hvilken effekt forskellige påvirkningsfaktorer og plejetiltag vil have på udviklingen af specifikke naturområder. Typisk vil et naturområde med en given geografi, jordbund og historie være

påvirket af flere påvirkningsfaktorer, som ændrer sig over tid, og for at forstå det komplicerede samspil mellem de forskellige faktorer og lave prognoser af deres effekter er vi nødt til at opstille økosystemmodeller.

Økologiske modeller

Ofte har vi en generel og kvalitativ viden om de vigtigste processer i forskellige økosystemer, men den kvantitative betydning af de enkelte processer og samspillet mellem dem er typisk ukendt. Det er derfor vigtigt at syntetisere den eksisterende viden af de økologiske processer i en økosystemmodel og sammenholde eller "fitte" modellen til økologiske data.

I de senere år er der udviklet kraftfulde og fleksible statistiske metoder til at kombinere generel økosystemforståelse med kvantitative målinger af økologiske variable. Ved hjælp af strukturelle ligningsmodeller, som fittes til økologiske data, er det muligt at estimere den kvantitative betydning af de enkelte processer og samspillet mellem dem, samt at

adskille den observerede varians i henholdsvis måleusikkerhed og procesusikkerhed. Her er procesusikkerheden den usikkerhed, som skyldes manglende viden om de kausale sammenhænge eller effekten af variable, man ikke har målt. Dette er vigtigt, idet en bestemmelse af procesusikkerheden gør det muligt at lave en kvantitativ bestemmelse af usikkerheden i de økologiske prognoser, hvilket kan være med til at øge deres troværdighed. Sammenlign for eksempel med moderne vejrudsigter, hvor det nu er standard at vise nedbørsprognoser som sandsynlighedsfordelinger af den forventede nedbør.

I et projekt støttet af Åge V. Jensen fonden arbejder vi nu på opstille sådanne strukturelle ligningsmodeller for lysåbne økosystemer (som strandenge, våde heder, og højmoser) og fitte disse modeller til data indsamlet inden for det ambitiøse naturovervågningsprogram NOVANA. Vi forventer, at disse modeller vil kunne anvendes til at forudsige effekterne af at reducere kvælstofdeposition på et givet na-

Forfatteren



Christian Damgaard er professor, dr. scient. ved Institut for Bioscience, Aarhus Universitet. Han arbejder med Plante-populationsbiologi og den matematiske og statistiske modellering af planteøkologiske processer. cfd@bios.au.dk



Prøvetagning i NOVANA. Det grå stativ forrest i billedet er en "pin-point ramme". Foto: Knud-Erik Nielsen.

Økologiske data - NOVANA

Økologiske processer foregår i tid, og ligesom man ikke kan måle hastigheden af en bil ud fra et billede, men er nødt til at vide, hvor bilen er til mindst to tidspunkter; således er det også nødvendigt at have økologiske tids-seriedata for at undersøge økologiske processer.

I Danmark har først amterne og derefter staten siden 2004 indsamlet økologiske data fra lysåbne naturtyper (som strandenge, våde heder, og højmoser) i et ambitiøst naturovervågningsprogram kaldet NOVANA. Hver naturtype er repræsenteret ved adskillige naturområder, og i hvert område er økologiske data fra cirka 10 prøvefelter blevet indsamlet gentagne gange. Positionen af de enkelte prøvefelter bliver genfundet med GPS-usikkerhed (det vil sige mindre end 10 meter). I begyndelsen blev prøvefelterne besøgt hvert år, men besøgsfrekvensen blev siden nedsat til tre år og er for nuværende seks år.

I NOVANA indsamles der overvejende data om vegetationen og jordbunden, fordi økosystemers funktion og

bevaringstilstand ofte kan karakteriseres og måles ved hjælp af dækningen af de dominerende plantearter. Her måles dækningen som det relative areal, planterne "dækker". Rent praktisk foregår det ved hjælp af "pin-point metoden", hvor man sænker en tynd pind ned i vegetationen og noterer, hvilke arter som rører pinden. Hvis en art røres af otte ud af seksten pinde, så er dækningen 0,5.

Det egentlige formål med at indsamle de økologiske data er at afrapportere bevaringstilstanden af de forskellige naturtyper som bestemt i EU's habitatdirektiv. Men derudover er de indsamlede data en værdifuld kilde til at forstå de økologiske processer i de lysåbne naturtyper.

Beskrivelser af alle de indsamlede økologiske data i NOVANA samt statistiske analyser af deres geografiske fordeling og ændringer over tid kan findes på hjemmesiden: novana.au.dk

tuområde eller forskellige naturplejetiltag. I første omgang har vi undersøgt effekten af blandt andet kvælstofdeposition og græsning for de våde heder.

Våde heder

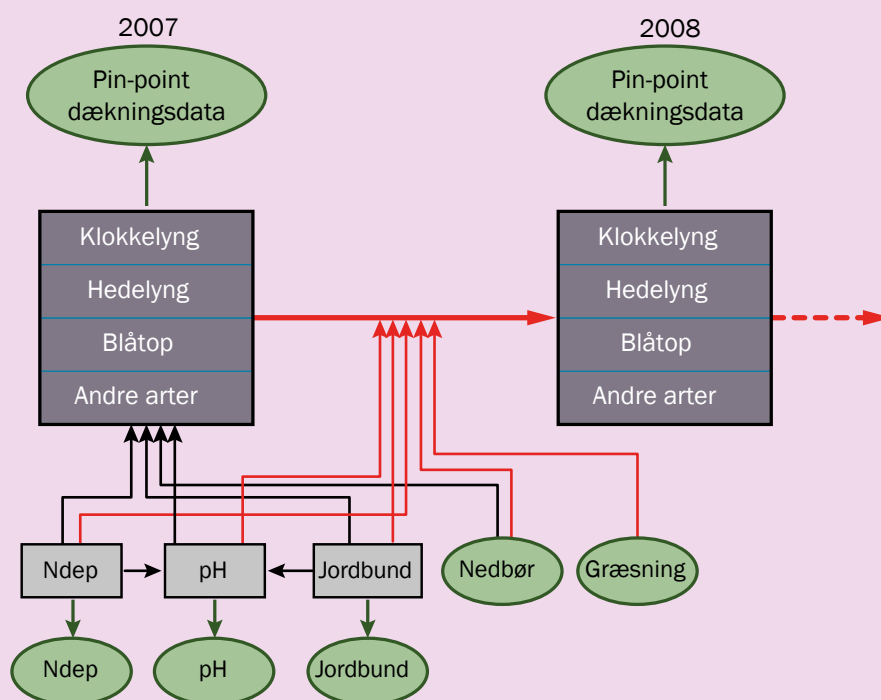
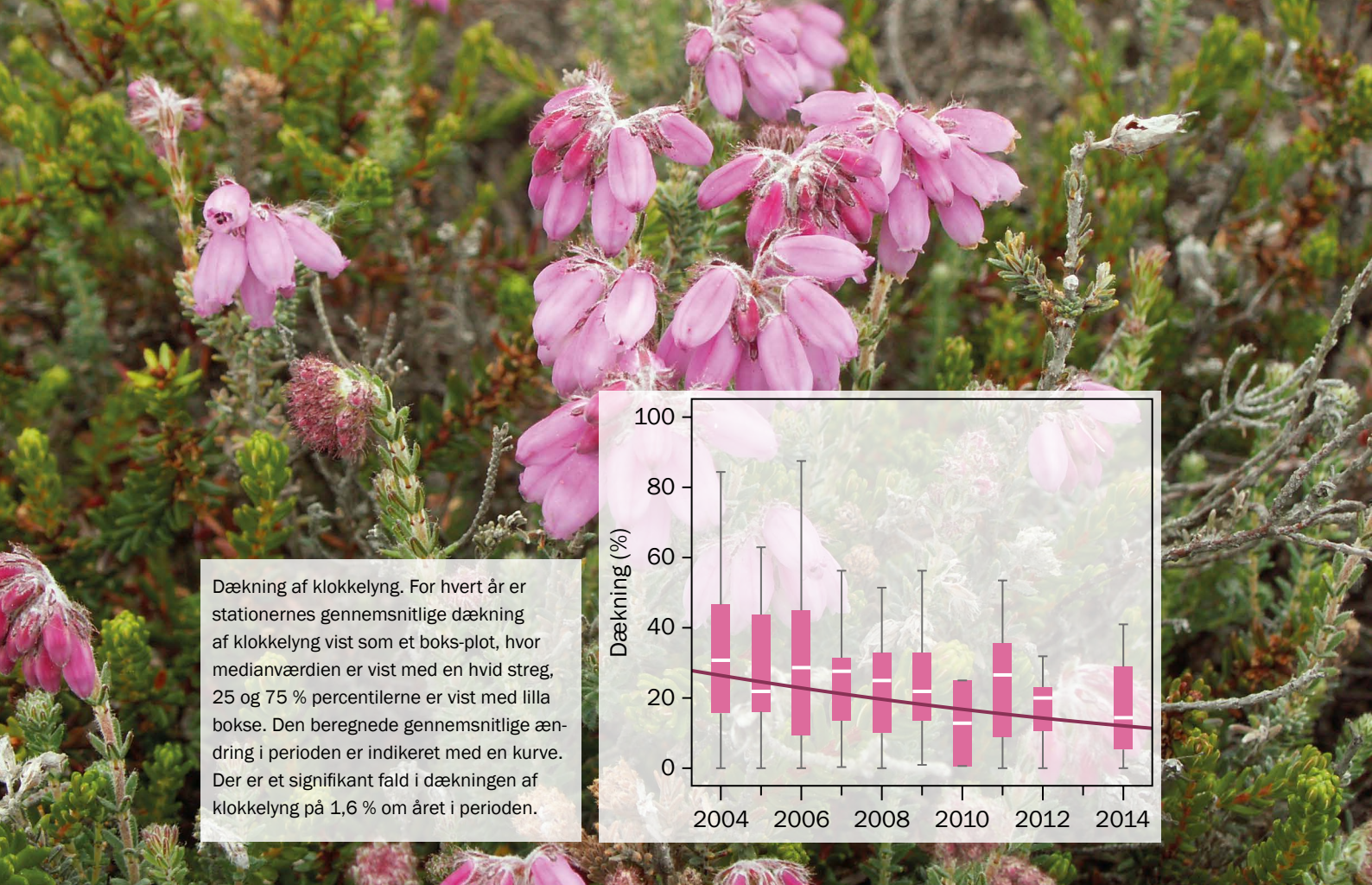
Våde heder findes på fugtige til våde næringsfattige arealer og har en vegetation, som er præget af

dværgbuske. Dværgbusken klokkeløng er en karakteristisk art for naturtypen, og denne art er gået signifikant tilbage siden 2004. I bestræbelserne på at bevare de våde heder i en gunstig tilstand er det derfor vigtigt at forstå, hvorfor klokkeløng er i tilbagegang.

For at kunne opstille en strukturel

ligningsmodel for de våde heder er det nødvendigt at udvælge de vigtigste økologiske processer og variable. Denne udvælgelse er baseret på vores eksisterende viden af, hvilke processer som forventes at være de vigtigste, men også hvilke data vi har tilgængelige.

Når det gælder de våde heder ved



vi, at de hydrologiske forhold må spille en vigtig rolle for, hvilken vegetation vi forventer at finde på de våde heder. Men desværre har vi i Danmark ikke gode hydrologiske data for de øverste jordlag, og den mulige effekt af den hydrologiske variation på plantearternes dækning kan vi derfor kun modellere som en del af den generelle procesusikkerhed.

Model forklarer observationer

Der var kun små forskelle mellem de observerede ændringer i dækningen af de forskellige arter og de forventede værdier, som den fittede model fandt frem til. Det vil sige, at den observerede ændring af vegetationen på de våde heder var godt forklaret af den fittede økosystemmodel. Dækningen af de to dværgbuske, klokkelyg og hedelyng, blev øget ved relativ høj kvælstofdeposition, høj pH, sandet jord, lav nedbør og fravær af græsning. Den observerede positive sammenhæng mellem øget dækning af dværgbuskene og øget

kvælstofdeposition er lidt overraskende, idet man generelt forventer, at græsser har en konkurrencefordel i forhold til dværgbuske, når der er meget kvælstof tilgængeligt. Vi vil derfor i den nærmeste fremtid gerne teste netop dette resultat i et manipuleret og kontrolleret forsøg.

Vi fandt ikke, at kvælstofdeposition havde en signifikant effekt på jordens pH, men derimod at sandede jorde generelt havde et lavere pH. Dette betyder, at der både var en direkte effekt af en relativt sandet jord på ændringen af vegetationen, samt en indirekte effekt medieret via en lavere pH.

Den observerede geografiske variation i vegetationen var kun tilnærmelsesvis forklaret af modellen, og modellen blev derfor udvidet med geografiske skjulte variable, som modellerer eventuelle forskelle mellem forskellige geografiske regioner. Denne analyse viste, at de våde heder i Syd-

jylland havde en mindre dækning af dværgbuske ved det samme niveau af påvirkningsfaktorerne end de våde heder i resten af Danmark. En nærmere undersøgelse af, hvad der karakteriserer de sydjyske våde heder vil i fremtiden kunne bruges til at generere nye hypoteser for økosystemprocesserne i de våde heder.

Lokale prognoser

Som nævnt kan den fittede økosystemmodel bruges til at forudsige effekterne af for eksempel at reducere kvælstofdeposition eller forskellige naturplejetiltag på et lokalt naturområde. Til dette formål skal man indsamle de økologiske data, som anvendes i modellen på det lokale naturområde. I forhold til omkostningen ved de forskellige plejetiltag vil det være relativt billigt, og det vil nu være muligt at forudsige effekterne af de forskellige plejetiltag på vegetationen med en kendt usikkerhed ved at anvende den fittede økosystemmodel. ■

Videre læsning:
Clark J. S. (2007).
Models for Ecological
Data. An Introduction.
Princeton University
Press.

Pearl, J. (2009).
Causality. Cambridge
University Press.

HAR DU EN INGENIØRSPIRE I DIN AFGANGSKLASSE?

Har du elever, der er i tvivl om, hvilken ingeniøruddannelse de skal vælge? Så husk dem på, at det stadig er muligt at besøge ingeniøruddannelserne på SDU.

Den **17. maj i Sønderborg** og **22. maj i Odense** kan dine elever møde studerende fra ingeniøruddannelserne i de to studiebyer og få en faglig rundvisning.

Mere information og tilmelding på:
www.sdu.dk/tek/faellesarrangement

Hvis din elev opfylder adgangskravene på den ønskede ingeniøruddannelse, kan han eller hun søge ind via kvote 1 allerede i år. Ansøgningsfristen er **torsdag den 5. juli kl. 12.00**.

Se alle vores forskellige ingeniøruddannelser på:
www.sdu.dk/ing



Forsøg med regnbueørreder har vist, at de reagerer på potentielt smertefulde stimuli såsom syre. Men om de også har en oplevelse af smerte, er der delte meninger om.
Foto: Shutterstock



KAN MAN MÅLE HVAD DYR TÆNKER OG FØLER?

I hvilken grad kan studier i adfærd og kognition hos dyr afsløre, hvordan dyr føler og tænker? En videnskabsteoretisk analyse af sådanne studier kan lære os om teoretiske antagelser i videnskaben og om videnskabens grænser.

Forfatterne:



Sara Green er adjunkt
sara.green@ind.ku.dk



Claus Emmeche
er lektor
emmeche@ind.ku.dk

Begge ved Institut for Naturfagenes Didaktik, Sektion for Videnskabs-teori og Videnskabs-historie, på Københavns Universitet.

De fleste har nok på et tidspunkt spekuleret over, hvad forskellige dyr kan opleve. Hvilke dyr kan eksempelvis føle smerte, og oplever de mon smerte, som vi gør? Kan dyr være selvbevidste og huske deres erfaringer? Kan de knytte sociale bånd, som ligner menneskelige venskaber? Sådanne spørgsmål stimulerer vores nysgerrighed efter at forstå den verden, vi lever i, men er også relevant for dyreetiske spørgsmål. Samtidig kan en undersøgelse af, hvorvidt og hvordan videnskaben kan afgøre sådanne spørgsmål lede til vigtige videnskabsteoretiske indsigter, blandt andet om

betydningen af teoretiske antagelser i videnskab og videnskabens grænser.

Et pædagogisk eksempel på dette er debatten om, hvorvidt fisk kan føle smerte. Diskussionen er et eksempel på en ophedet videnskabelig debat, hvor ikke kun tolkningen af forsøg er til diskussion, men også selve det teoretiske fundament for, hvad vi forstår ved smerte. I denne artikel vil vi undersøge de forudsætninger, som har indflydelse på den videnskabelige diskussion af emnet. Vi vil også undersøge, hvordan videnskabelige forsøg og resultater beror på en række teoretiske antagelser og begreber, og hvordan

videnskabelige diskussioner ofte angår filosofiske antagelser knyttet til begreberne.

Hvad er smerte?

Hvis man reflekterer lidt over fænomenet smerte, kommer man hurtigt frem til, at der er noget særligt ved *oplevelsen* af smerte, som er svært at måle og definere. Oplevelsen af smerte er, hvad filosoffer vil kalde et *irreducibelt subjektivt* bevidsthedsfænomen, som kun kan opleves i et førstepersons perspektiv (svarende til grammatisk førsteperson: "jeg har hovedpine"). Selvom vi kun har adgang til andres smerte indirekte, i et tredjepersons perspektiv ("hun har smerter"), er

vi dog sjældent i tvivl om, at andre mennesker oplever smerte, fordi vi observerer adfærd, som ligner vores egen og kan tale sammen om vores oplevelser. De fleste er ikke heller ikke i tvivl om, at eksempelvis hunde eller katte kan opleve smerte, men det bliver her sværere at vide, om de oplever smerte på helt samme måde, som vi gør, når mulighederne for kommunikation er mere begrænsede. Og hvad stiller vi op med spørgsmålet, når det angår dyr såsom fisk, som har en meget anderledes fysiologi og adfærd?

Overvejelserne af hvilke dyr vi umiddelbart mener kan føle smerte, og hvorfor, leder typisk til en diskussion af de problemer, der kan være forbundet med at overføre vores erfaringer til dyr. Tendensen til ukritisk at overføre menneskelige egenskaber til dyr kaldes ofte *antropomorfisme*, "menneskeliggørelse". Det er et eksempel på, hvad videnskabsteoretikere kalder *teoriladethed*: At en tilsyneladende neutral iagttagelse er farvet af teoretiske antagelser. Ser vi en kat fælde en tåre, tænker vi måske, at

den græder, men gør den det? Eller ser vi blot dråber af øjenvæske, der skyldes irritation af øjet? Dagligdags ord som "tåre" og "øjenvæske" er ladet med vores forståelse af det, vi selv ser eller føler. På samme måde kan også videnskabelige observationer være farvet af teoretiske antagelser hos enkelte forskere eller forskersamfund.

Teoriladethed tolkes nogle gange som et problem for videnskabelig objektivitet, og begrebet antropomorfisme bruges ofte som en kritik af en værdiladet overførsel af menneskelige erfaringer til dyrenes verden. Teoretiske antagelser kan farve forståelsen af verden omkring os, for på hvilken baggrund kan vi slutte at dyr oplever det samme som os? Samtidig er teoriladethed en uundgåelig og essentiel del af erkendelse, og også af naturvidenskabelig forskning. Videnskabelige forsøg giver kun mening i en kontekst af vores tidligere erfaringer, metodiske antagelser, og teoretiske rammer som forsøget udføres indenfor. Teoretiske antagelser er således et element af videnskaben,

som både *muliggør* og *påvirker* vores forståelse og eksperimenter. Med andre ord tillader de os at fokusere blikket og se bestemte ting, men dette fokus hænger uløseligt sammen med skabelsen af blinde vinkler.

Argumenter for, at fisk ikke kan føle smerte

I diskussionen om, hvorvidt fisk kan føle smerte, er det nødvendigt, at forskeren definerer, hvad der i denne sammenhæng forstås ved smerte, og hvorledes et komplekst fænomen kan gøres *målbart* gennem videnskabelige metoder. Her er det interessant at observere, at nogle lægger vægt på at operationalisere smerte ved at identificere neurologiske eller molekylære mekanismer, mens andre lægger vægt på forsøg, hvor man studerer dyrenes adfærd. Teoriladethed i denne sammenhæng kan således hænge sammen med et bestemt videnskabeligt fokus (for eksempel på neurobiologi eller adfærdsbiologi), eller med en bestemt forståelse af, hvad der karakteriserer selve fænomenet.

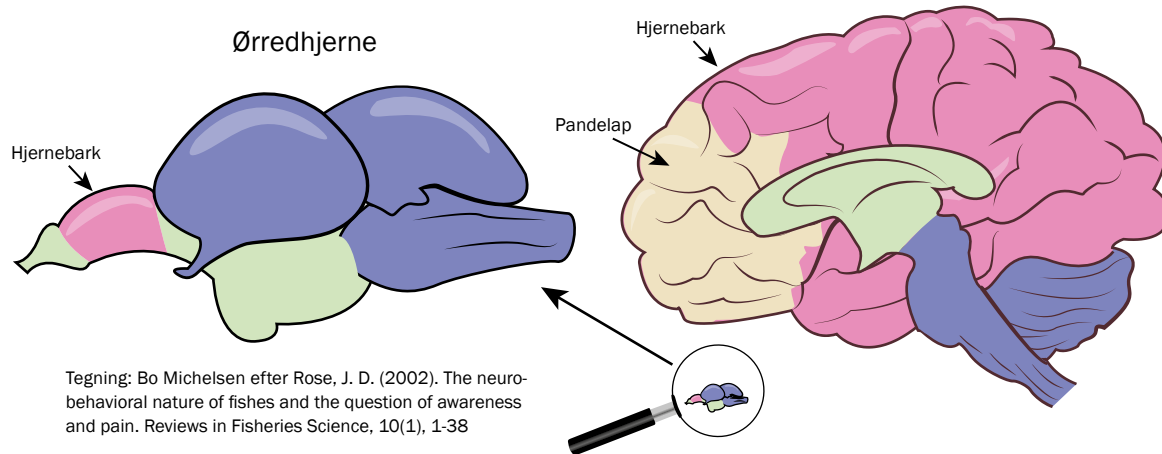
Kan dyr være selvbevidste og være venner?

Der findes andre interessante diskussioner i biologien, der er beslægtet med problemstillingen, om fisk (og andre dyr) kan føle smerte. For eksempel, hvorvidt dyr kan være selvbevidste eller være venner og om det kan afgøres via adfærdsbiologiske studier. Kan selvbevidsthed operationaliseres som observation af selvrettet adfærd via en spejltest? En adfærd er selvrettet, hvis dyret kan bruge spejlet til at gøre noget i forhold til sig selv (for eksempel gnide sig i panden, hvis det ser en plet) snarere end at flygte eller gå til angreb, som om det var en fjendtlig artsfælle. Så tolkes det som at dyret ser sig selv, og ikke tror det ser en anden artsfælle.

Men hvad kan man konkludere hvis et dyr "består" eller "ikke består" testen? Har det eksempelvis betydning for tolkningen af resultatet, hvis dyr forinden skal trænes i (og belønnes for) at bruge et spejl? Duer kan lære det ved hjælp af belønning (betinget indlæring), mens chimpanseer, delfiner og mennesker lærer det uden. Nogle dyrearter skal også bruge længere tid på at lære det end andre. For nyligt rapporterede forskere, at delfiner består spejltesten allerede fra de er cirka syv måneder gamle, mens vi mennesker typisk skal være mellem

halvandet og to år, før vi kan det. Forsøg af denne type kan dermed også lede til refleksioner over forudsætningen for vores egne evner og den evolutionære placering af mennesket i dyreriget.

Et lignende spørgsmål, som er meget omdebatteret, er, om bestemte former for social adfærd hos dyr kan tolkes som en form for venskab. Hvis to medlemmer af en flok, som ikke er specielt nært beslægtet, hjælper hinanden igennem længere tid, kan det ligne en art venskab. Men en del biologer tøver og spørger, om ikke brugen af begreber såsom "hjælp" og "venskab" i den sammenhæng er en form for antropomorfisme, som ikke hører hjemme i videnskaben? Omvendt kan der være en risiko for at afgrænse den menneskelige sfære fra dyrenes, således at menneskelige egenskaber ukritisk ophøjes som noget særligt og artsspecifikt. Hvorfor skulle selvbevidsthed og venskab ikke være egenskaber, der også har en evolutionsmæssig forhistorie og findes i varierende grader hos andre dyr end vores egen art? Så spørgsmålet er: Hvor langt kan vi i det hele taget gå i forsøget på at forstå dyrs oplevelser og deres kognitive og sociale evner?



Tegning: Bo Michelsen efter Rose, J. D. (2002). The neuro-behavioral nature of fishes and the question of awareness and pain. Reviews in Fisheries Science, 10(1), 1-38

Tegning af hjernestrukturen hos en regnbueørred (til venstre), sammenlignet med et menneske (til højre). Nedenfor er med først-nævnte vist i samme størrelsesforhold som menneskehjernen. Mennesket har en meget udviklet hjernebark, som udgøres af det yderste lag af storhjernen med dybe folder. Tilsvarende strukturer (lyserøde) hos fisk udgør også en mindre del hjernestørrelse og er langt mindre komplekse. Hos mennesker er pandelappen (det sandfarvede område) afgørende for smerteoplevelse, men den struktur findes ikke hos fisk. Det er blevet brugt som argument for, at fisk ikke kan føle smerte.

Nogle forskere mener ikke, at fisk kan føle smerte. En artikel publiceret i 2002 af den amerikanske zoologiprofessor James D. Rose satte for alvor gang i debatten. Rose indleder artiklen med en skelnen mellem *smertereaktion* (nociception) og *smerteoplevelse*. En fysiologisk *smertereaktion* kan forekomme uden en bevidst oplevelse af smerte, eksempelvis når vi fjerner ubehag ved smerte gennem smertestillende midler, men hvor neurofysiologiske smertereaktioner stadig forekommer. Der er generel enighed om, at fisk, ligesom pattedyr, er udstyret med smertereceptorer (nociceptorer). Gennem signaler i nervesystemet kan disse udløse reaktioner på potentielt skadelige stimuli, såsom temperaturændringer og kemikalier. Der er derimod uenighed om, hvorvidt disse nerveimpulser hos fisk er ledsaget af en bevidst *oplevelse* af smerte. Hos mennesker og pattedyr er smerteoplevelse forbundet med aktiviteter i den del af hjernebarken, der kaldes pandelappen (præfrontale cortex), som ikke findes hos fisk. Roses centrale pointe er, at fisk ikke kan opleve smerte, fordi de mangler de neurofysiologiske strukturer, som gør det muligt at opleve smerte.

Neurobiologen og smerteforskeren Brian Key har for nylig forsvaret dette synspunkt i en række artikler,

hvor han fremhæver, at den neurologiske struktur bestemmer funktionen. Hvis der ikke kan findes en neurologisk mekanisme, som ligner den, vi kender fra pattedyr, kan vi ifølge Key ikke konkludere, at fisk kan føle smerte. Han indrømmer, at vi heller ikke med 100 % sikkerhed kan vide, at de *ikke* kan. Men han mener, at bevisbyrden ligger hos dem, som påstår, at fisk kan føle smerte. Rose og Key tolker det således som et eksempel på antropomorfisme, når vi antager, at fisk kan føle smerte, fordi vores egne erfaringer farver vores tolkning af fiskenes adfærd.

Kan smerteoplevelse reduceres til hjernestrukturen?

Rose og Key er blevet mødt med kritik fra andre forskere. Nogle har sået tvivl om, hvorvidt muligheden for smerteoplevelse kan reduceres til eksistensen af en bestemt hjernestrukturen. Kritikerne vender her antropomorfisme-kritikken mod Rose og Key selv ved at påpege, at antagelsen om, at dyrs fysiologi fungerer på samme måde som mennesket, i sig selv er en form for antropomorfisme (eller antropocentrisme). Argumentet om, at visse neurologiske strukturer er nødvendige for, at en organisme kan opleve smerte, beror altså også på nogle teoretiske antagelser om, at vi må forvente lighed i strukturer

og funktioner på tværs af dyrearter. Mod dette har nogle forskere peget på, at hjernen hos mange dyr er et plastisk organ, og at bearbejdningen af informationer kan foregå forskellige steder hos forskellige arter og følge forskellige principper. Eksempelvis har både mennesker og blæksprutter farvesyn, men vi skelner mellem farver på helt forskellig vis. Andre har henvist til forskelle i dyreriget på forholdet mellem organismestørrelsen og den præfrontale cortex, og at der ikke er nogen simpel sammenhæng mellem dette forhold og dyrenes kognitive evner. Det er derfor et vigtigt spørgsmål, hvorvidt det kan udelukkes, at fisk oplever smerte via andre neurologiske processer end eksempelvis pattedyr.

Eksperimentelle tilgange til smerte

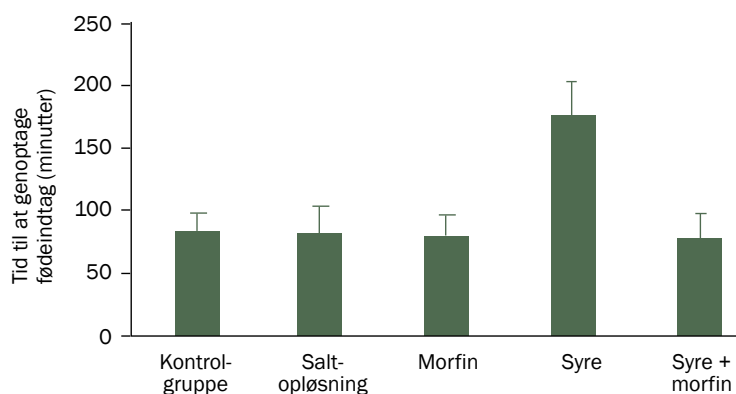
En anden type kritik beror på henvisning til resultater af forsøg designet til at undersøge, om fisk kan føle smerte. Her er det interessant at kigge nærmere på, hvordan sådanne forsøg er designet, hvilke teoretiske antagelser der forudsættes, samt hvilke eventuelle usikkerheder der kan være forbundet med resultaterne. Særligt er det vigtigt at kigge på, hvordan abstrakte begreber som smerteoplevelse *operationaliseres*, det vil sige gøres målbare i eksperimenter. Eksem-

pelvis har forskere undersøgt, hvordan fisk reagerer på indsprøjtning af syre sammenlignet med en kontrolgruppe, som får indsprøjet saltvand. Hos regnbueørreder udsat for syreindsprøjtninger er der observeret adfærdsændringer, herunder øget gælleventilation, udsat eller nedsat fødeindtag, og nogle fisk gnubber de injicerede områder mod strukturer i akvariet. Disse reaktioner mindskes, hvis fiskene samtidig får morfin. Resultaterne er derfor blevet tolket som evidens for, at fisk ikke blot har smertereaktioner, men også oplever en form for smerte.

Key og andre har imidlertid betvivlet, at de observerede adfærdsændringer er mere end simple instinktive reflekser, blandt andet ved at pege på usikkerheder i forsøgene og manglen på en specifik mekanisme i nervesystemet, som forklarer smerteoplevelsen. Debatten går altså i høj grad på, hvad der kræves af et forsøg, for at vi kan skelne mellem adfærd, som udtrykker ubevidste reaktioner og oplevelse af smerte. For at imødekomme denne skepsis har andre peget på, at nogle adfærdsændringer synes at være så komplekse, at de forudsætter hukommelse og læring via oplevede erfaringer. Eksempelvis kan nogle fisk lære at undgå, hvad der antages at være smertefulde stimuli som elektrisk stød eller fangst med krog over længere tid (fra dage til måneder). Tidsperspektivet for varige adfærdsændringer tages her som indikator for erfaringsbaseret læring og hukommelse, men det er omdiskuteret, hvor grænsen bør sættes. Overordnet illustrerer eksemplet, hvordan videnskabelige kontroverser kan bero på forskellige syn på, hvordan centrale begreber skal defineres og operationaliseres, men også på hvornår man har evidens nok, og hvad der overhovedet tæller som evidens.

Videnskabens muligheder og begrænsninger

Selvom videnskaben og filosofien ikke kan give endegyldige svar på dette og lignende spørgsmål, er de vigtige at diskutere og undersøge.



Søjlediagrammet viser den tid, det tager regnbueørreder at genoptage normal adfærd (fødeindtagelse) efter forskellige påvirkninger. Gruppen, som har fået indsprøjet syre, er dobbelt så lang tid om at indtage føde som kontrolgruppen, mens dette ikke er tilfældet for gruppen, som også har fået morfin (længst til højre). Forskellen på de to er blevet tolket som evidens for, at fisk ikke blot har smertereaktioner, men også en oplevelse af smerte (som kan dæmpes ved smertestillende midler).

Kilde: Sneddon, L. (2003). The evidence for pain in fish: the use of morphine as an analgesic. *Applied Animal Behaviour Science* 93: 153-162.

Ikke mindst fordi vi ofte skal træffe beslutninger på trods af videnskabelige usikkerheder. På trods af usikkerhed om, hvorvidt fisk kan føle smerte, skal vi eksempelvis tage stilling til, hvordan vi behandler fisk i forbindelse med dyreforsøg, dambrug og fiskeri. Her er det et vigtigt spørgsmål, om den videnskabelige evidens giver os grunde til at lade tvivlen komme fiskene til gode. Eksemplet kan dermed bruges som illustration af, hvordan videnskabelige resultater kan danne baggrund for politiske beslutninger. Desuden er forskning i smerte hos dyr et eksempel på, at samfundets værdier kan påvirke videnskabens udvikling. Her er en vigtig pointe, at interessen for hvilke dyr, der kan føle smerte, og fokus på dyrevelfærd i det hele taget, historisk set er en nyere udvikling.

Overordnet er en vigtig grund til at diskutere sådanne eksempler, at de kan træne os til at tage et

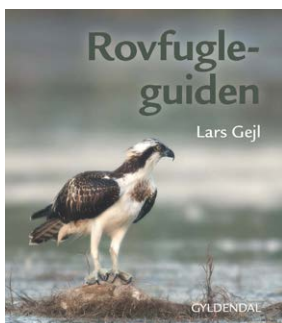
reflekteret og kritisk blik på erkendelsens og særligt videnskabens muligheder og begrænsninger. Det er ikke kun vigtigt for at reflektere over vores egen læring og viden, men er også en forudsætning for at kunne forholde os kritisk til vigtige samfundsmæssige debatter, hvor videnskabelige resultater bruges (og misbruges) til at støtte bestemte synspunkter. Videnskaben er jo en meget stærk og vigtig metode til at udvide vores erkendelse, men videnskaben udtømmer ikke alt, hvad der kan vides. Som eksemplet med smerte viser, er der former for viden, som ikke er så lette at teste.

Men selvom der er ting, som ikke kan måles og vejes, er de ikke af den grund mindre virkelige. Smerte har som fænomen både målbarre aspekter, og aspekter, der er irreduktibelt subjektive. Og det er selvfølgelig en smertelig erkendelse for den forsker, der gerne ville have haft videnskabeligt svar på alt. ■

Cases til videnskabsteori

I en serie af artikler vil undervisere i Fagets Videnskabsteori præsentere læserne for videnskabsteoretiske aspekter af alle de naturvidenskabelige gymnasiefag. Vi tager udgangspunkt i cases, som vi på Institut for Naturfagenes Didaktik bruger i vores undervisning i videnskabsteori på bacheloruddannelser ved SCIENCE på Københavns Universitet.

BØGER



F A K T A

Lars Gejl: *Rovfugleguiden*. Gyldendal 2018. 300 sider, 349,95 kr.

Rovfugleguiden

I *Rovfugleguiden* fortæller forfatteren og fotografen Lars Gejl i tekst og mere end 500 fotos om de 39 arter af rovfugle, der yngler eller ses på trækk i Europa. I bogen beskrives hver art i detaljer med forekomst og udbredelse, fældning, dragter og racer samt trækk og generel biologi. Bogen har også 12 sammenligningstavler, hvor arter, der er svære at skelne fra hinanden, vises sammen.

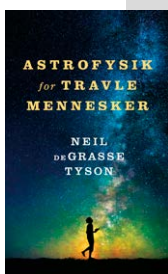


F A K T A

Søren Rasmussen: *Polarhåndbogen*. Gyldendal 2018. 228 sider, 249,95 kr.

Polarhåndbogen

Bogen er skrevet af Søren Rasmussen, der gennem 30 år har virket som ekspeditionsleder på krydstogtskibe i Arktis. *Polarhåndbogen* henvender sig særligt til rejsende på krydstogter i de polare områder. Bogen giver et bredt overblik over en lang række emner om de polare egne – blandt andet om historiske og politiske forhold, geografi, klima, økosystemer og planteliv samt ikke mindst om det unikke dyreliv, der kan opleves nær polerne.



F A K T A

Neil deGrasse Tyson: *Astrofysik for travle mennesker*. Oversat af Henry Nørgaard. Gyldendal 2018. 224 sider, 199,95 kr.

Astrofysik for travle mennesker

Den kendte amerikanske astrofysiker og formidler Neil deGrasse Tyson har skrevet denne lille bog til alle dem, som med forfatterens egne ord "... har for travlt til at læse tykke bøger, men som alligevel søger en ledetråd til kosmos". I bogen tager han læseren med gennem alt fra Big Bang til sorte huller, fra kvarker til kvantemekanik og mørkt stof og jagten på at opdage exoplaneter og finde andet liv i universet.



F A K T A

Maria Kirstine Østergaard: *Matematikangst – fordomme og køn*. Frydenlund 2018. 114 sider, 199,- kr..

Matematikangst – fordomme og køn

De færreste går i panik, når der står dansk, engelsk eller billedkunst på skemaet. Matematik kan derimod udløse angst hos elever både i grundskole og på ungdomsuddannelserne. Cand. pæd. Maria Kirstine Østergaard undersøger i denne bog, hvordan man som lærer kan afhjælpe angsten.



F A K T A

Patrik Olufsson & Klaus Dichmann: *Lydløse jægere*. Gyldendal 2018. 224 sider, 299,95 kr.

Lydløse jægere

Uglerne er blandt vores mest kendte fugle, om end de fleste af os sjældent ser dem. I *Lydløse jægere* tager de to fugleekspertes og ugleentusiaster Klaus Dichmann og Patrik Olufsson os med ud i natten og fortæller om de ugler, der kan opleves i Danmark. Selv om kun få af verdens flere end 200 uglearter findes i Danmark, er der stor variation blandt dem, vi har: Fra stor hornugle, der er en af verdens største ugler, til kirkuglen, som er en af verdens mindste.

Debat: Hvad er meningen med livet...

I kølvandet på artiklen *Hvad er meningen med livet* af Jesper Hoffmeyer i *Aktuel Naturvidenskab* 6/2017 og Troels Holms reaktion på denne artikel i indlægget *Hvad er meningen med videnskab?* i AN 1/2018, har der udspundet sig følgende replikskifte:

Replik fra Jesper Hoffmeyer:

Som svar på min artikel *Hvad er meningen med livet?* i *Aktuel Naturvidenskab* 6/2017 har biolog Troels Holm leveret et glødende forsvar for den klassiske fysiske videnskabsmodel. Det var den, der i sin tid fik mig til at studere biokemi, for dengang var jeg fuldt og fast overbevist om, at mennesket var en kemisk anordning. I modsætning til mig har Troels Holm åbenbart ikke oplevet nogen problemer med denne model. Det problem, som jeg oplevede, og som biosemiotikken er et svar på, er, at når man har

med levende væsner at gøre, så har man uvægerligt at gøre med livsytringer. Hvis vi i den situation følger Holms model, så bliver disse ytringer reduceret til eller forklaret ad kemisk vej. Min og biosemiotikkens påstand er, at dette fører os på afveje, så man for eksempel ultimativt kommer til at forklare patienters vanskeligheder på hospitalerne som kemiske problemer. I stedet, mener vi, bør videnskaben tage udgangspunkt i, at livsytringer netop er ytringer, det vil sige semiotiske størrelser, så at vi må have en

semiotisk kompetent biologi, hvis vi vil forstå dem. Holms klassiske model har vi levet med i århundreder. Intet er nemmere end at forsvare den. Men hvad nu, hvis der er noget fundamentalt forkert ved den model? Det er, hvad biosemiotikken handler om. Det handler overhovedet ikke om at finde meningen med livet – ingen der husker min oprindelige artikel – kan vist tro, det var det, jeg mente. Det handler ganske enkelt om, at ytringer er semiotiske fænomener og bør behandles som sådan – ikke som kemi. ■

Genreplik fra Troels Holm:

Jeg vil præcisere: Nogle livsytringer er semiotiske, ikke kemi.

JH kommer i sin replik til at tillægge mig en række synspunkter, som jeg aldrig har fremført og endnu mindre vil forsvare. Jeg læste med begejstring JH's tidlige kritik af de "reduktionistiske videnskaber" (for eksempel i *Dansen om guldgrubet*, Gyldendal 1975), og er fuldstændig enig med JH i det forkastede i at reducere mennesket til en "kemisk anordning" og for eksempel tro, at psykiske problemer blot skyldes mangel på specifikke transmitterstoffer i hjernen.

Jeg er ikke nogen forsvarer af de sidste århundreders "klassiske fysiske videnskabsmodel", hvis der overhovedet findes en sådan. Jeg forsøger blot at forsvare det, som jeg anser for at være den teoretiske kerne i en sund naturvidenskabelig metode: udrensningen af de teleologiske tendenser, der spontant sniger sig ind, når mennesker forsøger at forstå. Og nu forholder det sig altså sådan, at den teoretiske fysik og kemi er de discipliner, der indtil nu har haft størst

held med dette forehavende. Måske fordi årsagssammenhængene her ofte er mere gennemskuelige for os.

Men i den kemiske videnskabs teoretiske fundament findes absolut intet, som kan begrunde en tro på, at den skulle kunne forklare alle menneskelige fænomener. Den kemiske videnskab er begrænset til at forstå og forklare verdens kemiske aspekter. De reduktionistiske forestillinger, som vi begge tager afstand fra, er opstået i miljøer og institutioner, der ofte selv mangler et videnskabeligt fundament og derfor forsøger at låne det andetsteds.

For eksempel står psykiatrien – mig bekendt – uden en teoretisk sammenhængende forståelse for, hvordan dens objekt, menneskesjælen, med dens overvældende følelsesliv fungerer. Behovet for faglig legitimitet gør det fristende at forsøge at koble sig på en rigtig videnskab.

Man er nødt til at skelne mellem naturvidenskab som faglig erkendelsesmæssig metode (epistemologien) og de videnskabelige

institutioner (videnskabssociologien). Hertil kommer en underskov af politiske, filosofiske og folkelige forestillinger om, hvad videnskab er eller burde være (videnskabsfilosofien).

Man kan således gennem historien sagtens finde tænkere og filosoffer, som støtter en reduktionistisk menneskeopfattelse, men den er altså ikke indbygget i moderne naturvidenskabers eget teoretiske fundament. Det er bare primitiv videnskabsfilosofi. Man kan godt være tilhænger af det ene og forkaste det andet.

Noget af uenigheden kan koges ned til, at JH bruger termen "livsytringer" flertydigt. For der findes ytringer af mange slags. Nogle livsytringer er af kemisk-fysisk karakter. Andre er af økologisk-miljømæssig art. Og atter andre er tegn og signaler, som er af semiotisk art. Jeg er overbevist om, at forskellige former for forståelse kræver forskellige former for begreber og faglighed. Nogle fænomener er tilgængelige for en naturvidenskabelig forståelse, andre er absolut ikke. Til den sidste gruppe hører både sociologi, økonomi, psykiatri og semiotik. ■

Genreplik fra Jesper Hoffmeyer:

Jeg beklager, hvis jeg har tillagt Troels Holm synspunkter, han ikke har. Det var ikke meningen. Vi er tilsyneladende mere enige, end jeg først troede. Tilbage står lige spørgsmålet om min anvendelse af begrebet "livsytringer", som også andre end Troels Holm har

bebrejdet mig. Jeg tillader mig at bruge dette ord helt bredt, dels fordi det jo ikke er en videnskabelig artikel, jeg skriver, men en replik i en avispolemik, og dels fordi jeg i almindelighed tror, sproget rummer sin egen klogskab. Når det hedder livs"ytring" er det

fordi, det faktisk er en slags "ytring". Troels Holm har da ret i, at disse ytringer kan være mere eller mindre dybe i semiotisk forstand; Nogen af dem er nærmest ren kemi. Men min pointe er, at det kræver semiotisk kompetence at afgøre det spørgsmål. ■

Kæmpe satsning på formidling af naturvidenskab

Med en bevilling på 123 millioner kr. vil Novo Nordisk Fonden opbygge et nyt stort almennyttigt læringscenter, LIFE, som stiller gratis undervisningstilbud inden for naturvidenskab til rådighed for skoler i hele landet. Efter etableringsperioden på to år er det hensigten, at bevillinger på op til i alt knapt 1,6 mia. kroner skal finansiere centrets aktiviteter de næste 10 år.

Formålet med LIFE er at øge interessen og kompetencen blandt børn og unge for naturvidenskab, så flere vil vælge en naturvidenskabelig uddannelse.

Kernen i LIFE's almennyttige tilbud til uddannelsesinstitutionerne er en række læringspakker udviklet i samarbejde med virksomheder, som bygger på autentiske problemstillinger. Læringspakkerne omfatter både konkrete hands-on-eksperimenter og digitale læringsaktiviteter. Der kan også indgå udstyr og materialer pakket i materialekasser, som skoler og gymnasier bestiller hos LIFE og får stillet gratis til rådighed.



Læringspakkerne vil udvikles på tre forskellige platforme:

Et digitalt univers bestående af en webportal med adgang til undervisningsmaterialet for både elever og lærere og af spil, virtuelle laboratorier og modeller, som kan inddrages i undervisningen.

10 mobile laboratorier: Lastbiler vil blive fuldt udstyret med et klasselaboratorium og

bemandes med LIFE-medarbejdere, som kan lede det eksperimentelle arbejde i samarbejde med klassens lærer.

Et læringslaboratorium i Lyngby: Bygningen nyopføres på Dyrehavegårds Jorde i Lyngby og vil rumme moderne laboratorier og fungere som besøgscenter for skoleklasser.

CRK, Kilde: Novo Nordisk Fonden

Science på RUC

Naturvidenskab i virkeligheden

Interesserer du dig for Matematisk Modellering?

Nye uddannelser på Roskilde Universitet:

- **Mathematical Computer Modelling**
- **Mathematical Physical Modelling**

Tilbud til dit gymnasium

Vælg imellem tre pakkestørrelser:

Gymnasieabonnement:

Antal blade i pakken:	10	20	40	60	eksemplarer
Pris eksklusiv moms:	450	475	725	975	kr.

(omfatter 6 numre/udgivelser pr. år.)

Den lave pris er mulig i en periode* som led et projekt, som VILLUM FONDEN støtter.

Nye undervisningsmaterialer

På hjemmesiden aktuelnaturvidenskab.dk finder du også undervisningsmaterialer.

Forløb om fysik og musik

På hjemmesiden kan du nu finde et omfattende materiale til et forløb om fysik og musik. Materialet kan indgå som en del af emnet bølgelære i Fysik C, og følger man den foreslåede plan, har forløbet en varighed på 7 moduler a 70 minutter. Materialet omfatter en række arbejdsark med både teoretiske og praktiske opgaver om for eksempel lydintensitet og lydstyrke, overtoner og klangfarve, stående bølger, lydens hastighed med videre.

I forløbet indgår også de to artikler fra Aktuel Naturvidenskab: *Fysik og musik i videnskabs-historien* og *Når musikken skader*. Materialet er udarbejdet af Bjarning Christian Grøn, Viborg Katedralskole. Både artikler og materiale kan frit hentes på Aktuel Naturvidenskabs hjemmeside.

Test din viden i quizzerne

Quizzerne på Aktuel Naturvidenskabs hjemmeside er en let og sjov måde at teste, om man har forstået de væsentlige budskaber i en artikel. Der kommer en ny quiz hver uge. Prøv for eksempel de nye quizzer: *Få styr på varmeregningen*, *Bliver man stærkere af D-vitamin?*, *Når planeter fordamper i stjernens skær* eller *Bag om statistikken*.

Materialet og quiz-app er lavet som led i projektet Aktuel Naturvidenskab i gymnasiet finansieret af VILLUM FONDEN.



ABONNEMENTS-SERVICE

Har du fået ny adresse eller ønsker du at bestille et abonnement på bladet?

Kontakt os på telefon: 87 15 20 94
E-mail: abo@aktuelnaturvidenskab.dk

Abonnement kan også bestilles via hjemmesiden: aktuelnaturvidenskab.dk

Husk at melde flytning til ny adresse.
Vi modtager desværre ikke automatisk besked om din nye adresse.

Gaveide:

Bestil en intro-pakke med otte helt nye numre plus abonnement i et år (6 numre) for kun 354,- kr. inkl. porto & ekspedition.

OM AKTUEL NATURVIDENSKAB

Styregruppe

- Birgitte Lyhne**, kommunikationschef, Det Natur- og Biovidenskabelige Fakultet, Københavns Universitet
- Jens D. Holbech**, chefkonsulent, Science and Technology, Aarhus Universitet
- Mads Bendix Fjendsbo**, rektor, Viborg Gymnasium og HF
- Mette Christina Møller Andersen**, specialkonsulent, Det Tekniske Fakultet, Syddansk Universitet
- Niels Kring**, chefkonsulent, Det Naturvidenskabelige Fakultet, Syddansk Universitet
- Sanne Holm Nielsen**, kommunikationsmedarbejder, Det Teknisk-Naturvidenskabelige Fakultet, Aalborg Universitet

Eftertryk kun efter aftale. Citat kun med tydelig kildeangivelse. Synspunkter, der fremføres i bladet, kan ikke generelt tages som udtryk for redaktionens holdning.

Layout: Jørgen Dahlgaard
Tryk: Jørn Thomsen Elbo A/S
ISSN: 1399-2309 (papirudgaven),
1602-3544 (web)
Oplag: 8.000



Redaktionsgruppe

- Birgitte Dalgaard**, Det Tekniske Fakultet, Syddansk Universitet
- Birgitte Svennevig**, Det Naturvidenskabelige Fakultet, Syddansk Universitet
- Carsten Rabæk Kjær**, Aktuel Naturvidenskab
- Jørgen Dahlgaard**, Aktuel Naturvidenskab
- Peter Arnborg Videsen**, Viborg Gymnasium og HF
- Sanne Holm Nielsen**, Det Teknisk-Naturvidenskabelige Fakultet, Aalborg Universitet
- Svend Thanning**, Københavns Universitet
- Torben Jarl Jørgensen**, Roskilde Universitet

Redaktionen:

Tlf.: 87 15 20 94

E-mail: red@aktuelnaturvidenskab.dk

Hjemmeside: aktuelnaturvidenskab.dk

Facebook.com/aktuelnaturvidenskab

Postadresse: Aktuel Naturvidenskab,
Ny Munkegade 120, Bygning 1520, 8000 Aarhus C

Omslagsfoto:

Selvkværende biler kan drage nytte af kunstig intelligens / deep learning. Foto: Shutterstock.

Al henvendelse til:
 Aktuel Naturvidenskab,
 Ny Munkegade 120, 8000 Aarhus C
 E: abo@aktuelnaturvidenskab.dk
 T: 87152094

Exoskeletterne kommer

Af Carsten R. Kjaer, Aktuel Naturvidenskab

Exoskeletter: Det lugter lidt af Black Panther, Iron Man eller andre helte, der kan dele seriøse øretæver ud, fordi deres højteknologiske dragt giver dem overmenneskelige kræfter. Og dette superhelte-univers baseret på "Wearable robotics", som "automatiserede kropsbårne exoskeletter kaldes på fagsproget, er ikke engang så langt ude alt den stund, at en del kræfter er investeret i militære forskningsprojekter, hvor drømmen om at forstærke soldater med avancerede exoskeletter lever i bedste velgående. Man er imidlertid langt fra at have udviklet militære exoskeletter, der vil imponere en fan af superhelte-film – og det skal vi måske også bare være glade for.

Heldigvis har mange forskningsprojekter mere fredelige formål for øje, for grundlæggende handler udvikling af exoskeletter til mennesker om at sætte dem i stand til at gøre noget, de ellers ville have svært ved. Her er en oplagt målgruppe mennesker med handicaps. En af de helt store udfordringer ved at udvikle velfungerende exoskeletter til mennesker er at lave mekaniske led, der ikke er store og klodsede og giver en masse begrænsninger i de bevægelser, man kan lave. Netop den udfordring har forskere ved Aalborg Universitet nu vakt international opsigst ved at komme med en smart løsning på. De har nemlig opfundet et mekanisk led, der ved hjælp af et simpelt "sakseled-princip" kan trækkes ud i en bue rundt om en kugle.

Diskret og fleksibelt

»Det nye led, vi har udviklet, er lige så alsidigt som et kugleleje, men næsten helt fladt. Fordi det er så kompakt, kan man lave et exoskelet, som kan bæres helt diskret under tøjet. Det betyder meget – især for børn, der er nødt til at gå med det.« fortæller ph.d.-studerende Miguel Nobre Castro i forskergruppen for Biomekanik ved Aalborg Universitet, som



Miguel Castro med det nye mekaniske led.
Foto: Jakob Brodersen.

er en af hovedmændene bag opfindelsen.

Det nye led – kaldet CXD, der står for Compact X-scissors Device – er oprindelig udviklet til børn, der har mistet førligheden i armen eller skulderen på grund af sygdom eller en ulykke. Men det vil også være meget relevant at bruge til støtte for hoftelæddet, der ligesom skulderleddet er et kugleled, så man kan udnytte CXD-leddets fulde bevægelighed i en sfære rundt om leddet.

I marts måned vandt det nye CXD-led førstepræmien ved en stor konference om Wearable Robotics i Arizona, USA. Her bestod dommerkomiteen af repræsentanter for de store exoskelet-producenter, så der er gode muligheder for, at forskernes led kan blive standardudstyr i fremtidens exoskeletter.

Exoskeletter i hverdagen

Lars Halkjær, der er specialkonsulent i teknologioverførsel og en del af forskergruppen

bag CXD, tror at exoskeletter om få år vil være et almindeligt syn i hverdagen, ligesom droner efterhånden er blevet det.

»Udover at hjælpe mennesker med handicaps, kan fleksible exoskeletter også hjælpe med at gøre ældre medborgere selvhjulpne i længere tid. Og i industrien kan der være opgaver, der kræver styrke og præcision at løse, som ikke er egnet til at blive udført af en robot – men hvor en medarbejder med et exoskelet vil være det helt rigtige«, siger han.

Selvom der kan synes langt fra et udtrækeligt kugleled til en exoskelet-iklædt industriarbejder, er det ofte den slags teknologiske gennembrud, der kan sætte turbo på udviklingen indenfor et felt. Det håber Lars Halkjær nu, at forskergruppens arbejde vil bidrage til. »Men det behøver ikke ende med noget Iron Man-agtigt – mindre kan også gøre det«, griner han.